

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

ЧАСТЬ 3

(часть 1 в №4(78) июль-август, часть 2 в №5(79) сентябрь-октябрь, 2010 г.

Нумерация рисунков и таблиц сквозная)

Кратко рассмотрим основные компоненты **GGOS (Global Geodetic Observing System)**, а именно: Управляющий комитет (**Steering Committee - SC**), Исполнительный комитет (**Executive Committee - EC**), Бюро по сетям и коммуникациям (**Bureau on Networks and Communication - BNC**), Бюро по стандартам и соглашениям (**Bureau on Standards and Conventions - BSC**), Научную группу (**Science Panel - SP**) и Рабочие группы (**Working Groups - WG**).

SC является основным органом, принимающим решения о GGOS. SC собирается примерно три раза в год. В состав SC входит 51 член во главе с Markus Rothacher, упомянутым в части 2 статьи в качестве аналитического координатора IERS. Российских членов в SC нет.

EC осуществляет план работы по решениям SC. В состав EC входят 7 членов во главе с тем же Markus Rothacher. Российских членов в EC нет. Несколько раз в год EC проводит регулярные встречи, а с 2007 года - телеконференции.

BNC было официально учреждено на 14-м совещании SC в декабре 2008 года. BNC функционирует на базе GSFC NASA. Основная цель BNC - разработка стратегии по проектированию, интеграции и поддержанию фундаментальной геодезической сети, обеспечивающей устойчивый способ удовлетворить долгосрочные (10-20 лет) требования, определенные Научным советом (**Science Council**) GGOS. В основе такой стратегии лежат датчики и обсерватории, расположенные по всему миру, для предоставления своевременных, точных и фундаментальных данных, необходимых для создания продукции GGOS. Первый акцент сделан на поддержание инфраструктуры, необходимой для поддержания развивающейся глобальной системы отсчета, в то же время обеспечивающей более широкую поддержку научных приложений собираемых данных. Стратегия использует синергетические (т.е. самоорганизационные) возможности для более эффективной интеграции с инфраструктурами и коммуникационными сетями других технологий наблюдения Земли, организованных в рамках GEOSS (это было отмечено в части 2 статьи). В состав BNC входят 9 членов во главе с директором Michael Pearlman из Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики (**Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics - CfA**). Российских членов нет.

BSC было официально учреждено на 14-м совещании SC в декабре 2008 г. BSC функционирует совместно с Исследовательской группой по спутниковой геодезии (**Research Group on Satellite Geodesy - FGS** (англ.), **Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie - FESG** (нем.)) Мюнхенского технического университета (**Technische Universität München - TUM** (нем.)). Ди-

ректором BSC является Urs Hugentobler из Института астрономии и физической геодезии (**Institut für Astro-nomische und Physikalische Geodäsie - IAPG** (нем.)) TUM. Основные цели BSC: следить за строгим соблюдением стандартов, резолюций и соглашений, касающихся официальных продуктов, предоставляемых геодезическим сообществам; осуществлять обзор, анализ и оценку всех стандартов, констант, резолюций и соглашений, принятых IAG или его компонентами, и рекомендовать их для дальнейшего использования или давать необходимые предложения по обновлению; выявлять возможные пробелы в стандартах и соглашениях и предпринимать шаги, чтобы восполнить их.

SP, объединяющая экспертов из разных областей наук о Земле, обеспечивает научное консультирование SC, включающее, в том числе, разработку научного плана для GGOS (в настоящее время это т.н. «Книга GGOS 2020»). Всего в SP 12 экспертов из 6 ведущих развитых стран. Российских участников нет.

WG в настоящее время пять, а именно: по спутниковым проектам (под председательством C.K.Shum), по данным и информационным системам (под сопредседательством Bernd Richter и Carey Noll), по аутричу¹ и связям с пользователями (под председательством Bente Lilje Bye), по взаимодействию с GEO (под председательством Hans-Peter Plag), по стандартизации ITRS (под председательством Claude Boucher). Наибольший интерес для нашей статьи представляет последняя рабочая группа, т.к. её основной целью является содействие принятию стандартов ИСО по глобальной геодезической системе отсчета, базирующихся на ITRS. Первые шаги в этом направлении уже сделаны, а именно, выпущена вторая версия стандарта «ISO 19111:2007. Пространственная привязка посредством координат (*Spatial referencing by coordinates*)» (первая версия была выпущена в 2003 г.). Членами этой рабочей группы Claude Boucher и Pascal Willis в 2008 г. в порядке дискуссии был выпущен очень интересный документ под названием «Формальное международное признание ITRS (*Formal international recognition of the International Terrestrial Reference System (ITRS)*)», в котором авторы сделали попытку обосновать необходимость признания мировым сообществом под эгидой ООН ITRS как единой отсчётной системы, а все другие отсчётные системы (в том числе такие как WGS-84, ETRS89) считать реализациями ITRS. В целом деятельность ИСО по стандартизации в области геоде-

¹ Аутрич (outreach) – метод работы с населением и отдельными группами, при котором специально обученные сотрудники или добровольцы профильных служб выходят в места встреч, пребывания, отдыха, работы целевой группы, оказывают поддержку, раздают печатные материалы, проводят индивидуальные консультации и т.п.

зии, картографии и геоинформатики ведётся в рамках Международного Технического комитета 211 (ISO/TC211) "Географическая информация/Геоматика" (*Geographic information/Geomatics*)» (Российская Федерация участвует в нём в лице аналогичного по наименованию ТК 394). Все стандарты этого направления объединены в общую серию под названием ISO 19100, которых всего выпущено более 50. Их рассмотрение выходит за рамки данной статьи.

На этом обзор структуры GGOS закончен. Более детальная информация о GGOS будет дана в Приложении 23.

Национальный геофизический комитет Российской Федерации (НГК) РФ с секцией геодезии

Как было указано в части 1 статьи, а также и на web-сайте НГК, НГК является представителем России в IAG. Непосредственное отношение к деятельности IAG в части систем координат имеет Секция геодезии, в состав которой входит 35 членов во главе с председателем Савиных В.П., и ряд членов этой секции специализируются именно на системах координат, а именно: Кафтан В.И. (региональные отсчетные основы, деформации земной коры), Баранов В.Н., Крылов В.И. (взаимодействие небесной и земной отсчетных основ), Демьянов Г.В., Лебедев С.В., Макаренко Н.Л. (глобальные отсчетные основы).

В отчёте секции геодезии о работе в 2009 г. отмечено, что только незначительное число российских участников получило возможность приехать для участия в работе международных конференций и что ситуация существенного сокращения участия российских ученых в руководящих органах IAG и ее комиссиях, несмотря на определенные положительные сдвиги, сохраняется. В связи с этим необходимо предпринимать энергичные, целенаправленные действия по ее исправлению.

На этом обзор деятельности IAG окончен.

Мировая геодезическая система WGS-84 (World Geodetic System 1984 - WGS-84)

WGS-84 принадлежит Минобороны США, опирается на Наземную опорную систему (*Terrestrial Reference Frame - TRF*), включающую 17 пунктов, равномерно размещенных по Земному шару. WGS-84 интегрирована с Геодезической опорной системой 80 (*Geodetic Reference System 80 - GRS80*), принятой IUGG в декабре 1979 г. на XVII генеральной ассамблее в Канберре, и системой ITRS.

WGS-84 является глобальной по пространственному охвату, международной по количеству сотрудничающих разработчиков и пользователей из большинства государств мира, общедоступной по уровню и качеству предоставляемых пользователям услуг, телекоммуникационной по уровню автоматизации и информационного обмена. WGS-84 признана в качестве стандарта Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и Международной морской организацией (ИМО), внедрена в большинстве стран участниц ИКАО и ИМО, в том числе в воздушной и морской транспортных системах России и большинства стран бывшего СССР. Полное документированное описание системы WGS-84 регулярно издаётся Министерством

обороны США в виде Технического сообщения (*Technical report*) о системе WGS-84. Третье издание Технического сообщения о системе WGS-84 (TR8350.2) выпущено 4 июля 1997 г. Национальным управлением видовой и картографической информации (*National Imagery and Mapping Agency, NIMA*). 3 января 2000 г. это Техническое сообщение было переиздано с уведомлением, что «оно было исправлено, чтобы исправить опечатки, найденные в оригинальной печати этого выпуска». Следует отметить, что NIMA, созданное 1 октября 1996 г. на базе Военного картографического управления (*Defense Mapping Agency - DMA*) Минобороны США и Центрального управления видовой информации (*Central Imagery Office - CIO*) ЦРУ США, в 2003 г. было преобразовано в Национальное агентство геопространственной разведки США (*US National Geospatial-Intelligence Agency - NGA*), выполняющее на территории всего Земного шара широкий спектр задач по геопространственной разведке в интересах обороны и экономики США. Все полномочия по WGS-84 перешли от NIMA к NGA. На web-сайте NGA <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350.2.html> опубликованы вышеуказанное Техническое сообщение TR8350.2, Страницы изменений к исходному тексту TR8350.2 и Приложение TR8350.2. Техническое сообщение TR8350.2 является не единственным официальным документом о системе WGS-84. Например, в ИКАО регулярно издаётся Руководство по Всемирной геодезической системе – 1984 (WGS-84) (последнее 2 издание выпущено в 2002 г.). Есть и другие официальные международные публикации по WGS-84. В отношении координат опорных пунктов указываются две реализации TRF WGS-84: WGS-84(G730) и WGS-84(G873), где G – номер GPS-недели, когда были получены эти уточненные координаты TRF по результатам GPS-наблюдений. Даты ввода этих реализаций TRF: 29 июля 1994 г. и 29 января 1997 г. соответственно. Последняя же реализация TRF WGS-84 приведена в Приложении TR8350.2 с обозначением WGS-84(G1150) и датой ввода – 20 января 2002 г. На TRF WGS-84(G1150) остановимся подробнее. В её установлении были использованы три группы станций слежения (*monitor stations*) системы GPS: станции слежения ВВС США (*US Air Force - USAF*) и NGA (рис.9), а также (впервые для TRF WGS-84) - станции слежения IGS (рис.10). Координаты 49 станций IGS использовались для контроля координатного решения для TRF. Для этого координаты этих станций IGS в системе координат ITRF-2000 на эпоху 1997,0 в период сбора информации для проведения координатного решения (14-28 февраля 2001 г.) для TRF были зафиксированы. Обращает на себя внимание то, что в составе этих 49 станций 2 станции находятся на территории Российской Федерации (Звенигород - станция ZVEN, Иркутск - станция IRKT). В целом координатное решение для TRF WGS-84(G1150) его авторами считается согласованным с параметрами ITRF-2000 с точностью порядка 1 см (СКО). Прямоугольные координаты и скорости станций слежения USAF и NGA в TRF WGS-84(G1150) на эпоху 2001,0 даны в таблице 7.

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИИ



Рис 9. Станции слежения USAF и NGA

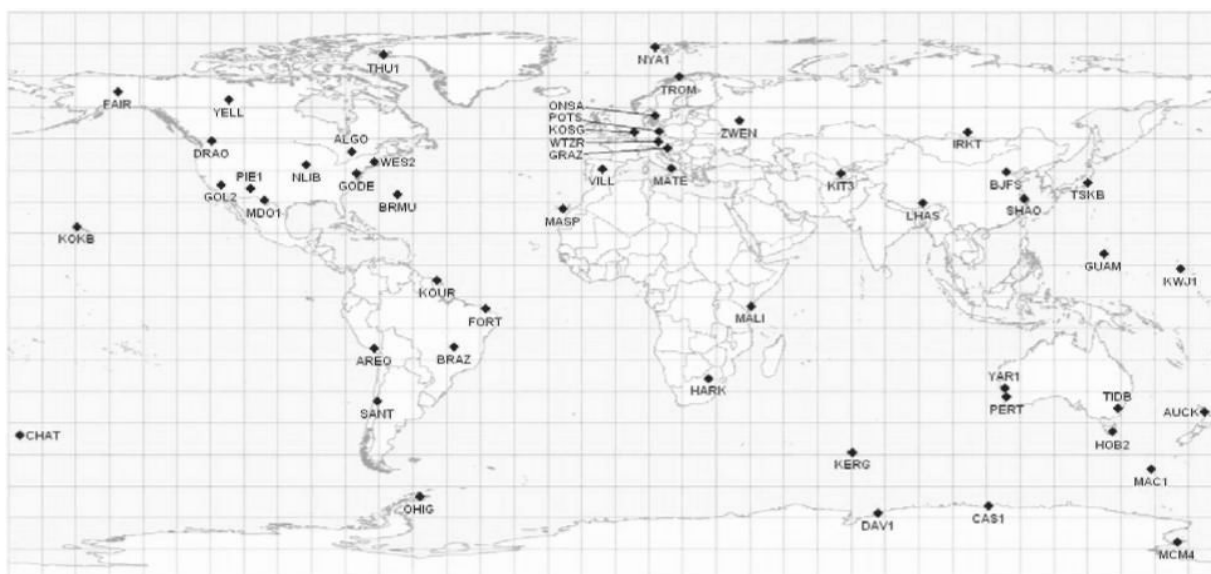


Рис 10. Станции слежения IGS, участвовавшие в координатном решении WGS-84(G1150)

Таблица 7

Станции слежения USAF и NGA

Station Location	NIMA Station Number	X (km)	Y (km)	Z (km)	X (cm/yr)	Y (cm/yr)	Z (cm/yr)
Air Force Stations							
Colorado Springs	85128	-1248.597295	-4819.433239	3976.500175	-1.8	0.1	-0.4
Ascension	85129	6118.524122	-1572.350853	-876.463990	-0.3	-0.5	1.0
Diego Garcia	85130	1916.197142	6029.999007	-801.737366	-4.2	2.0	3.1
Kwajalein	85131	-6160.884370	1339.851965	960.843071	2.1	6.7	2.7
Hawaii	85132	-5511.980484	-2200.247093	2329.480952	-1.0	6.3	3.0
Cape Canaveral	85143	918.988120	-5534.552966	3023.721377	-1.0	-0.2	0.2
NGA Stations							
Australia	85402	-3939.182131	3467.075376	-3613.220824	-4.08	0.36	4.73

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

Station Location	NIMA Station Number	X (km)	Y (km)	Z (km)	X (cm/yr)	Y (cm/yr)	Z (cm/yr)
Argentina	85403	2745.499065	-4483.636591	-3599.054582	0.21	-1.00	0.70
England	85404	3981.776642	-89.239095	4965.284650	-1.38	1.65	0.77
Bahrain	85405	3633.910757	4425.277729	2799.862795	-2.97	0.91	2.53
Ecuador	85406	1272.867310	-6252.772219	-23.801818	0.30	0.04	0.99
US Naval Observatory	85407	1112.168358	-4842.861664	3985.487174	-1.48	-0.01	0.10
Alaska	85410	-2296.298410	-1484.804985	5743.080107	-2.22	-0.36	-0.92
Alaska**	85410	-2296.298460	-1484.805050	5743.080090	-2.22	-0.36	-0.92
New Zealand	85411	-4780.787068	436.877203	-4185.258942	-2.35	1.92	2.20
South Africa	85412	5066.232133	2719.226969	-2754.392735	0.01	2.09	1.40
South Korea	85413	-3067.861732	4067.639179	3824.294063	-2.90	-0.76	-1.02
Tahiti	85414	-5246.403866	-3077.285554	-1913.839459	-4.25	4.68	2.91

Геодезическая опорная система GRS80 (Geodetic Reference System 80 - GRS80)

GRS80 является теоретической, поэтому её часто называют *эллипсоидом GRS80*. Эллипсоид GRS80 был принят XVII генеральной ассамблеей IUGG в Канберре в декабре 1979 г. в качестве обще-земного референц-эллипсоида. Определяющие параметры GRS80: большая полуось a , геоцентрическая гравитационная постоянная Земли GM , коэффициент второй зональной гармоники геопотенциала J_2 и угловая скорость вращения Земли ω . Параметры GRS80 используются для построения других координатных систем. Малая полуось GRS80 параллельна направлению на Международное условное начало, а начальный меридиан параллелен нулевому меридиану счета долгот МБВ. GRS80 основывается на теории эквипотенциального (уровенного или нормального) эллипсоида. Если дан эллипсоид с полуосями a и b , то он может быть описан эквипотенциальной поверхностью, называемой нормальным потенциалом. Функция U в соответствии с теоремой Стокса-Пуанкаре однозначно определяется поверхностью эллипсоида (с полуосями a , b), ограничивающей массу M , и угловой скоростью ω независимо от внутреннего распределения плотностей. Эллипсоид GRS80 рекомендован IUGG для проведения геодезических работ и вычисления характеристик гравитационного поля на поверхности Земли и во внешнем пространстве. В Европейском союзе GRS80 будет основой единой геодезической системы. При этом будет использована проекция UTM.

Европейская опорная сеть (European Reference Frame - EUREF)

EUREF построена и активно развивается в странах ЕС на базе ITRS/ITRF. EUREF – это Региональная подкомиссия IAG опорных сетей по Европе SC1.3a (*SC1.3a Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe*) Подкомиссии IAG по региональным опорным сетям SC1.3, созданной в 1987 г. решением Генеральной Ассамблеи IUGG. Эту орга-

низационную структуру иногда называют Региональной подкомиссией по EUREF. Необходимо отметить, что помимо Региональной подкомиссии IAG по EUREF в Подкомиссию SC1.3 входят региональные подкомиссии по Южной и Центральной Америке (*SC1.3b South and Central America - SIRGAS*), по Северной Америке (*SC1.3c North America - NAREF*), по Африке (*SC1.3d Africa - AFREF*), по Азиатско-Тихоокеанскому региону (*SC1.3e Asia-Pacific*), по Антарктиде (*SC1.3f Antarctica - SCAR*).

В сферу деятельности EUREF входит создание и поддержание Европейской земной опорной системы 89 (**European Terrestrial Reference System 89 - ETRS-89**) и Европейской вертикальной опорной системы (**European Vertical Reference System - EVRS**) (цель EVRS состоит в том, чтобы установить дециметровый уровень точности модели геоида и гравитационных систем измерения высоты всюду по Европе), при этом ключевым инструментом для этого является Европейская мониторинговая сеть (**EUREF Permanent Network – EPN**).

Основным предметом внимания EUREF является развитие пространственной и вертикальной компонент сети в тесном сотрудничестве с соответствующими структурами IAG, Европейской ассоциацией Еврогеографика (*EuroGeographics*) (от России в неё входит Росреестр) и Европейским консорциумом национальных картографических и кадастровых агентств (*consortium of the National Mapping and Cadastral Agencies (NMCA) in Europe*).

Задачи EUREF: продолжение создания EPN в тесном сотрудничестве с IGS для поддержания европейской системы отсчета и использования в качестве инфраструктуры для поддержки других проектов, прежде всего Европейской инициативы по GALILEO; расширение Единой европейской сети нивелирования (**Unified European Levelling Network - UELN**) и подготовка её к вычислениям по технологии «геокинематика (*geokinematic*)»; реализация проекта Европейской комбинированной геодезической сети (**Euro-**

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

pean Combined Geodetic Network - ECGN) и исследование расхождений, которые уже были определены при сравнении параметров Европейской объединенной вертикальной сети (**European United Vertical Network – EUVN**) и гравиметрического геоида (**проект EUVN_DA**), в тесном сотрудничестве с Комиссией 2 IAG; создание модели плотности поля скоростей в Европе для долгосрочного поддержания европейской системы отсчета; учёт вклада в GGOS, вносимого членами GGOS от EUREF; содействие принятию ETRS-89 и EVRS в европейских странах и общеевропейских организациях, участвующих в деятельности по геопозиционированию (*geo-referencing*); организация ежегодных симпозиумов на национальных и общеевропейском уровнях, связанных с общими задачами и целями EUREF.

ETRS-89 создана EUREF в 1990 г. как точная копия ITRS на эпоху 1989 г., но с дальнейшим её развитием с учётом стабильной части Евразийской плиты (*Eurasian Plate*). С тех пор ETRS-89 и ITRS расходятся из-за дрейфа континентов со скоростью приблизительно 2.5 см ежегодно. К 2000 г., например, эти две системы координат отличались примерно на 25 см. ETRS-89 используется, прежде всего, как стандартная высокоточная координатная основа GPS для Европы. ETRS-89 поддерживается Еврогеографией и одобрена Евросоюзом. ETRS-89 является геодезической основой для всех географических и геодинамических проектов на европейской территории как на национальном, так и на общеевропейском уровнях. ETRS-89 находится в ведении EUREF и доступна через EUREF-сеть EPN.

EPN – это мониторинговая сеть EUREF, представляющая из себя наукоёмкую сеть постоянно действующих базовых станций системы GPS с точными координатами в системе ETRS-89. Стратегией развития EPN предусмотрено наблюдение ГНСС (GNSS), в настоящее время включающей системы GPS и ГЛОНАСС, а в ближайшей перспективе – GALILEO. EPN финансируют на добровольной основе более 100 европейских организаций и университетов. Надежность EPN обеспечивается резервированием и подробными руководящими принципами обеспечения качества от «сырых» GPS-данных до итоговых координат станций. Наряду с ключевой ролью в поддержке ETRS-89, данные EPN также широко используются в широкой области научных приложений, таких как мониторинг земных деформаций, уровня моря, космической погоды и прогнозе погоды. Организационная структура EPN показана на рис.11. Генеральное управление EPN осуществляет Техническая рабочая группа EUREF (*EUREF Technical Working Group - EUREF TWG*). В состав EPN входят три компонента сети EPN (станции, центры данных и центры анализа), а также Группа координации (*EPN Coordination Group*), Центральное бюро (*EPN Central Bureau*), Группа проектов (*EPN Projects*). В табл. 8 из общего количества 266 станций EPN выбраны станции, находящиеся на территории государств, ранее входивших в СССР. Жирным шрифтом выделены станции, находящиеся на территории России.

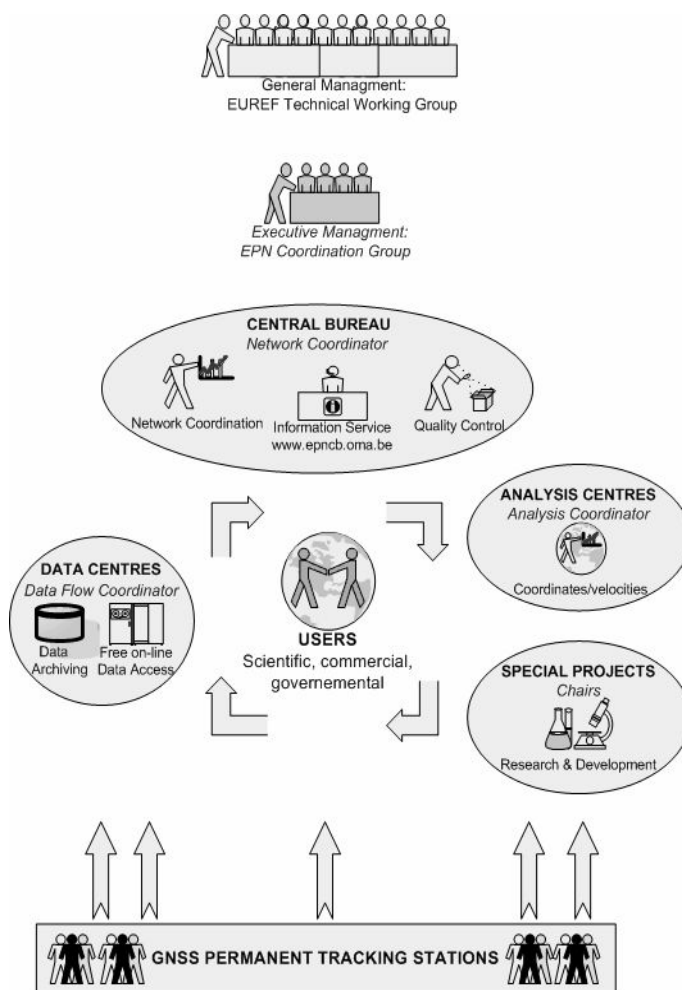


Рис.11. Структура EPN

ECGN является исследовательским проектом, нацеленным на повышение точности определения геоида. Целью ECGN является соединение с сантиметровым уровнем точности высотных систем, полученных через геометрическое позиционирование с помощью ГНСС, с высотами, полученными гравиметрическим способом. Исследуется влияние атмосферы, океанов и времязависимых параметров твёрдой Земли на гравитационное поле. ECGN использует данные со спутников с гравитационной миссией CHAMP, GRACE и GOCE с целью моделирования гравитационного поля Земли совместно с другими проектами, связанными с гравитацией (GMES, GEOSS, GGOS). ECGN рассматривается как вклад Европы в проект GGOS. ECGN управляется усилиями EUREF.

В целом EUREF является идеологической, структурной и технической основой национальных геодезических систем и сетей большинства стран Евросоюза, которые до создания EUREF развивались независимо друг от друга, и как было отмечено выше, цель Евросоюза – создать единую опорную геодезическую систему/сеть в Европе.

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ


Таблица 8

Сеть станций EUREF

(всего станций – 266, выбраны станции, находящиеся в странах бывшего СССР)

1.	ALCI_12371S001	Alchevsk/Mikhailovka, Ukraine		H			
2.	CNIV_15501M001	Chernihiv, Ukraine		H			
3.	EVPA_12344M001	Evpatoria, Ukraine		H			NEW
4.	IGEO_15101M001	Chisinau, Republic of Moldova		H		IP	
5.	KHAR_12314M001	Kharkiv, Ukraine	IGS	H	GLO		
6.	KURE_10604S001	Kuressaare, Estonia		H	GLO	IP	
7.	MDVJ_12309M005	Mendeleevo, Russian Federation	IGS		GLO		
8.	MIKL_12335M001	Mykolaiv, Ukraine	IGS	H			
9.	NSSP_12312M001	Yerevan, Republic of Armenia	IGS	H			
10.	POLV_12336M001	Poltava, Ukraine	IGS	H			
11.	PULK_12305M001	St.Petersburg, Russian Federation		H			
12.	RIGA_12302M002	Riga, Latvia	 IGS	H		ECGN	
13.	SMLA_15503M001	Smila, Ukraine		H	GLO		NEW
14.	SULP_12366M001	Lviv, Ukraine	IGS	H		IP	
15.	SUUR_10601M001	Tallinn, Estonia		H	GLO		
16.	SVTL_12350M001	Svetloe, Russian Federation	 IGS	H	GLO		
17.	TOIL_10605S001	Toila, Estonia		H	GLO	IP	
18.	TORA_10602S001	Tõravere, Estonia		H	GLO	IP	
19.	UZHL_12301M001	Uzhgorod, Ukraine	IGS	H			
20.	VLNS_10801M001	Vilnius, Lithuania				ECGN	
21.	ZECK_12351M001	Zelenchukskaya, Russian Federation	 IGS	H			

Условные обозначения

	Установлена метеостанция
IGS	Станция совмещена с сетью IGS
H	Станция выдаёт почасовые данные
TOS	Станция участвует в эксперименте по уточнению высоты
GLO	Станция оборудована GPS/ГЛОНАСС-приёмником
ECGN	Станция участвует в Европейской объединённой геодезической сети (European Combined Geodetic Network - (ECGN))
IP	Станция участвует в GNSS Интернет-проекте
NEW	Станция находится в Европейской мониторинговой сети (EPN) менее 6 месяцев

Опорные системы и сети Северной Америки

Наиболее значимую и результативную историю, наряду с опорными системами и сетями Европы, имеют опорные системы и сети Северной Америки (США, прежде всего), поэтому мы кратко остановимся на них. Как было отмечено выше, в Подкомиссию SC1.3 IAG входят региональные подкомиссии, в том числе по Северной Америке – **NAREF**. Помимо главной задачи NAREF – развития ITRF в Северной Америке – одной из задач NAREF является взаимодействие с национальными геодезическими службами США (**NOAA's National Geodetic Survey - NGS**) и Канады (**Natural Resources Canada - NRCan**). Кратко рассмотрим только деятельность NGS в отношении систем координат и сетей, т.к. деятельность NRCan во многом ей идентична.

NGS отвечает за поддержание и развитие следующих видов съёмочных технологий и деятельности: Национальной пространственной опорной системы (**National Spatial Reference System – NSRS**), Сети постоянно действующих референчных станций (**Network of Continuously Operating Reference Stations – CORS**), Калибровочных базовых линий (**Calibration Base Lines - CBL**), применения гравитации для переопределения американских вертикальных данных (**Gravity for the Redefinition of the American Vertical Datum - GRAV-D**), переопределения NAD83 в NSRS.

NSRS – национальная система координат, в которой определяются широта, долгота, высота, масштаб, гравитационное поле и ориентация, предназначена для удовлетворения экономических, социальных и экологических требований на всей террито-

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

рии США.

Продукты NSRS: геодезические координаты (широты, долготы, эллипсоидальные и ортометрические высоты) в официальных системах США, в настоящее время, Североамериканской системе координат 1983 года (*North American Datum of 1983 - NAD 83*) и Североамериканской системе высот 1988 г. (*North American Vertical Datum – NAVD 88*); геопотенциал; ускорение силы тяжести; отклонения от вертикали; модели, инструменты и руководящие принципы; официальная национальная береговая линия; орбиты GNSS; ориентация, масштаб и параметры связи NAD 83 и международных наземных опорных систем; а также вся необходимая информация для описания, каким образом эти параметры меняются с течением времени.

К компонентам NSRS относятся Федеральная опорная сеть (*Federal Base Network - FBN*), Интегрированная опорная сеть (*Cooperative Base Network - CBN*), Пользовательская сеть сгущения (*User Densification Network - UDN*).

FBN является общенациональной сетью постоянно действующих фундаментальных станций, расположенных через 100 километров. FBN обеспечивает пространственный контроль с наиболее высокой на сегодняшний день точностью (95%): 1 см для широт и долгот, 2 см для эллипсоидальной высоты, 3 см

для ортометрической высоты, 50 мкГал для силы тяжести, 1 мм/в год для движения земной коры. Благодаря интеграции горизонтальной и вертикальной сетей FBN обеспечивает точную навигацию, картографирование и управление ресурсами. В качестве примера на рис.12 показана FBN штата Техас, включающая пункты CORS, пункты Высокоточного горизонтального контроля (*High Accuracy Horizontal Control*), Высокоточные горизонтальные репера (*High Accuracy Horizontal Bench Mark*). CORS в рамках FBN обеспечивает данными ГНСС следующие виды деятельности: трехмерное позиционирование, метеорологию и геофизические приложения на всей территории США и нескольких зарубежных стран. CORS обеспечивает постобработку координат для получения точности в несколько сантиметров по отношению к NSRS как по горизонтали, так и по вертикали. CORS создана и поддерживается многоцелевыми совместными усилиями с участием правительственных, академических и частных организаций. Сайты управляются независимо. Каждое учреждение предоставляет свои данные в NGS, и NGS, в свою очередь, анализирует и распространяет данные бесплатно. По состоянию на май 2010 г. CORS включала более 1450 станций (рис.13), поддерживаемых более 200 различными организациями, и сеть продолжает расширяться.

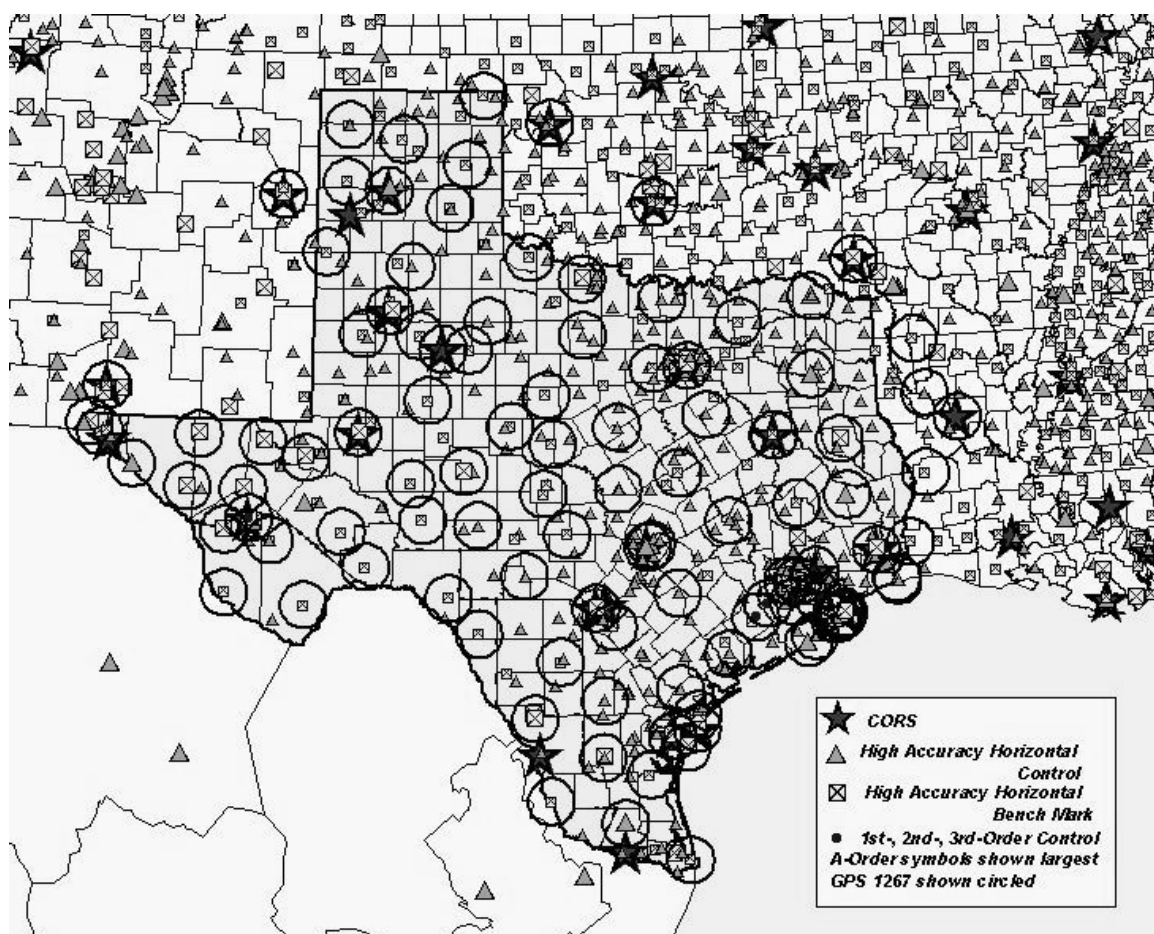


Рис.12. FBN штата Техас

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

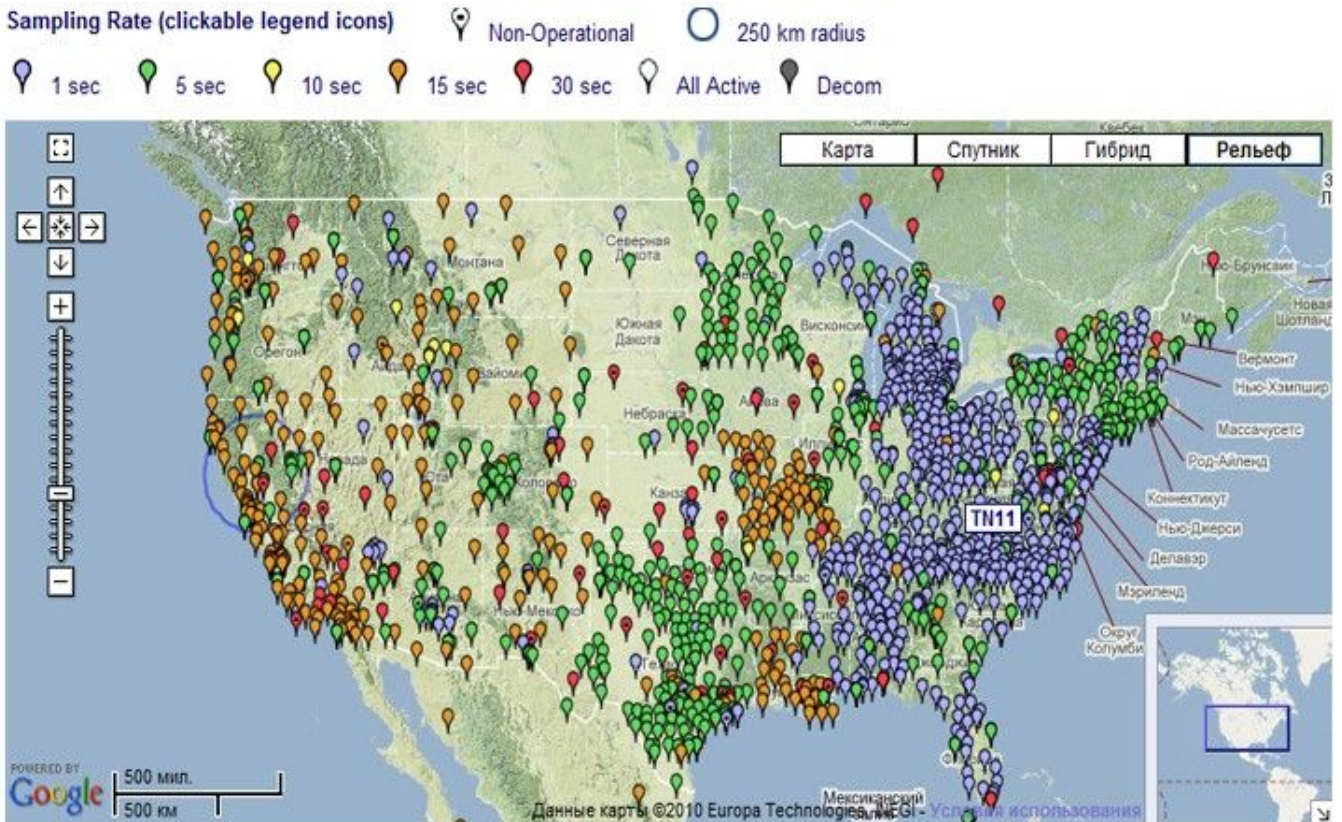


Рис.13. Сеть станций CORS

CBN является высокоточной сетью постоянно действующих станций расположенных в радиусе 25-50 км друг от друга на всей территории Соединенных Штатов и их территорий. CBN содержит дополнительные станции, обеспечивающие безопасную навигацию воздушных судов или в областях движения земной коры. NGS отвечает за CBN и оказывает помощь и консультации сотрудничающим учреждениям в осуществлении пространственного контроля в соответствии с принятыми федеральными стандартами и техническими условиями. Кроме того, NGS инструктирует пользователей и предоставляет им программное обеспечение для математической корректировки своих данных, чтобы соответствовать национальной геодезической основе, инструктирует или предоставляет форматы для включения данных пользователей в базу данных NGS, распространяет CBN-данные для обществу.

UDN предоставляет услуги, которые обеспечивают пространственную привязку для локальных инфраструктурных проектов. UDN-услуги должны быть связаны наблюдениями в FBN и CBN в соответствии со стандартами и спецификациями Подкомитета федерального геодезического контроля (*Federal Geodetic Control Subcommittee - FGCS*), входящего в состав Федерального комитета географических данных (*Federal Geographic Data Committee - FGDC*), отвечающего за Национальную инфраструктуру пространственных данных (*National Spatial Data Infrastructure - NSDI*). При необходимости NGS обеспечивает контроль качества, архивирование и распро-

странение UDN-данных. Перед отправкой данных в NGS организация должна проверить их точность, используя программное обеспечение, поставляемое NGS.

Необходимо отметить, что переход США к NSRS от действовавшей много десятилетий Национальной геодезической опорной системы (*National Geodetic Reference System - NGRS*) ещё продолжается и проходит с широким привлечением научной и производственной общественности США в достаточно острых дискуссиях. Одним из дискуссионных вопросов является использование термина «пространственная (spatial)» в названии NSRS, что объясняется не «мистикой», а необходимостью интегрирования NSRS с NSDI.

Опорные системы и сети России

Государственная геоцентрическая система координат Параметры Земли (ПЗ) находится в ведении Минобороны России (Военно-топографическое управление Генерального штаба ВС РФ). За более чем 40-летнюю историю создания версий ПЗ было несколько. В настоящее время реализована вторая версия ПЗ-90, называемая ПЗ-90.2. Основные параметры системы ПЗ-90.2 опубликованы в нормативном документе ВТУ ГШ «Параметры Земли 1990 года (ПЗ-90.02). Параметры общеземного эллипсоида и гравитационного поля Земли. М., 2005». Кроме того, действует ГОСТ Р 51794-2001 «Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразо-

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

ваний координат определяемых точек». Данный ГОСТ официально установил параметры версии ПЗ-90 и элементы трансформирования ПЗ-90 с другими системами координат. По линейным параметрам ПЗ-90.2 практически идентична WGS-84 и ITRS.

Гражданское использование ПЗ установлено:

– в нормативных документах прямого действия:

1) Постановление Правительства РФ от 28 июля 2000 г. №568 «Об установлении единых государственных систем координат»;

2) Распоряжение Правительства РФ от 20 июня 2007 г. №797-р (установило использование уточнённой версии ПЗ – ПЗ-90.02);

– в нормативных документах непрямого действия:

1) Указ Президента Российской Федерации от 18 мая 2007 г. «Об использовании глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Российской Федерации»;

2) Глобальная навигационная спутниковая система. Интерфейсный контрольный документ. Редакция 5.1. М, 2008. (новая версия раздела 3.3.4. Система координат). Федеральное космическое агентство. Информационно-аналитический центр. Прикладной потребительский центр. <http://www.glonass-iacp.rsa.ru/Главная/> Интерфейсный контрольный документ ГЛОНАСС + Новая версия раздела 3.3.4 Система координат ИКД;

3) Постановление от 25 августа 2008 г. №641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS» (1. Оснащению аппа-

ратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS подлежат следующие транспортные, технические средства и системы: ... д) приборы и оборудование, используемые при проведении геодезических и кадастровых работ... 2. Виды транспортных, технических средств и систем, указанных в подпунктах "г" - "е" пункта 1 настоящего постановления и подлежащих оснащению аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS, определяются федеральными органами исполнительной власти в установленной сфере деятельности).

Координаты опорных пунктов ПЗ-90.2 (Космическая геодезическая сеть - КГС), рис.14, засекречены и в гражданское пользование не предоставляются. Планами развития ПЗ открытое использование КГС не предусматривается. Однако, в системе ПЗ-90.2 определены и опубликованы координаты пунктов геодезической сети IGS, расположенных в России (табл. 9). На наш взгляд, в отношении ПЗ принятое постановление Правительства РФ №568 формально зауживают использование ПЗ только в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач. В то же время в геодезическое производство система ПЗ внедрена в виде запрограммированных параметрами ПЗ геодезических приёмников ГЛОНАСС. Широкому применению в геодезическом производстве России и всего мира ПЗ препятствует не только пресловутая «секретность», но, прежде всего, отсутствие внятной государственной политики в этом направлении и, как следствие, отсутствие полноценных глобальных геодезических технологий (что давно сделано США в отношении систем GPS и WGS-84).



Рис.14. Сеть опорных пунктов ПЗ

Координаты пунктов международной геодезической сети IGS, расположенных на территории России в системе координат ПЗ.90.2

№пп	Название пункта	Код пункта	Координаты пунктов, м			Скорость изменения координат, м/год		
			X	Y	Z	\dot{X}	\dot{Y}	\dot{Z}
1.	Арти	ARTU	1843956,907	3016203,039	5291261,706	-0,0245	0,0079	-0,0003
2.	Билибино	BILI	-2321892,971	560096,878	5894691,764	-0,0213	-0,0044	-0,0080
3.	Звенигород	ZWEN	2886325,543	2155998,399	5245816,145	-0,0219	0,0127	0,0040
4.	Зеленчукская	ZECK	3451174,880	3060335,313	4391955,568	-0,0216	0,0160	0,0089
5.	Иркутск	IRKT	-968332,334	3794425,414	5018167,728	-0,0255	0,0000	-0,0049
6.	Красноярск	KSTU	-174281,859	3571333,028	5264196,024	-0,0252	0,0016	-0,0052
7.	Магадан	MAGO	-2825810,143	1581232,927	5477005,540	-0,0210	-0,0019	-0,0148
8.	Менделеево	MDVO	2844672,112	2161066,397	5266365,554	-0,0209	0,0135	0,0057
9.	Норильск	NRIL	64537,246	2253782,870	5946363,498	-0,0227	0,0034	-0,0022
10.	Петропавловск-Камчатский	PETP	-3576239,756	1401003,444	5075177,505	-0,0050	0,0056	-0,0077
11.	Светлое	SVTL	2730155,511	1562364,624	5529989,211	-0,0197	0,0141	0,0041
12.	Тикси	TIXI	-1264873,147	1569455,794	6031003,431	-0,0192	-0,0035	-0,0093
13.	Южно-Сахалинск	YSSK	-3465320,798	2638269,400	4644085,493	-0,0154	-0,0052	-0,0126
14.	Якутск	YAKZ	-1915023,239	2308213,235	5610225,002	-0,0208	-0,0066	-0,0017

Государственная геодезическая система координат СК-95 находится в ведении Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) Минэкономразвития России. Основные параметры системы СК-95 опубликованы в следующих основных нормативных документах:

1. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКИНП (ГНТА)–01–006–03. М., ЦНИИГАиК, 2004.

2. Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года. ГКИНП (ГНТА)–06–278–04. М., ЦНИИГАиК, 2004.

Использование СК-95 установлено Постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г. №568 «Об установлении единых государственных систем координат». СК-95 закреплена на Земле опорными пунктами Государственной Геодезической сети (ГГС), часть из которых является также носителем Государственной нивелирной сети Российской Федерации. Координаты опорных пунктов в СК-95 засекречены. В геодезическое производство России система СК-95 внедрена повсеместно и на всех уровнях. СК-95 является единственной официально разрешённой на федеральном уровне системой для использования в геодезической и картографической деятельности. Технология использования пунктов ГГС для геодезической съёмки практически не изменяется сотни лет, со времён начала в России первых триангуляционных измерений: для геодезической съёмки местности на несколько пунктов ГГС в районе работ нужно устанавливать геодезические приборы (в том числе и ГНСС-приёмники), чтобы затем получить координаты определяемых пунктов в государственной или местной системе координат. Хотя многие процессы геодезических измерений автоматизированы, технология получения координат пунктов ГГС не автоматизирована: их необходимо по запросу получать на бумаж-

ном документе или CD-диске в уполномоченном органе Росреестра (ранее Роскартографии), при этом в системах СК-95 и СК-42 координаты пунктов ГГС имеют гриф «секретно», а в МСК – пометку «для служебного пользования». Секретность пунктов ГГС, являющихся носителями СК-95, существенно усложняет и удорожает геодезическое и картографическое производство в России. Несмотря на наличие в России открытых пунктов Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), в открытых электронных сетях (типа Интернет) необходимая для производства геодезических работ информация о ФАГС отсутствует. Отсутствие полноценной интеграции СК-95 с геоцентрическими системами ПЗ, WGS-84, ITRS, ETRS существенно тормозит прогресс геодезического и картографического производств в России. Устаревшие нормативные акты Роскартографии и технологии в части использования СК-95 и ГГС существенно усложняют геодезическое и картографическое производство в России.

Ведомственными планами развития СК-95 предусматривается переход к открытому и более эффективному использованию ГГС. В настоящее время создание ГГС новой структуры ведется в соответствии с Подпрограммой «Создание высокоэффективной системы геодезического обеспечения Российской Федерации» ФЦП «Глобальная навигационная система». В соответствии с этой Подпрограммой к 2012 г. должны быть выполнены работы по совместному уравниванию спутниковой геодезической сети (СГС) новой структуры и традиционной геодезической сети триангуляции и полигонометрии 1–4 классов, а также подготовлены каталоги координат пунктов ГГС. Таким образом, совокупность пунктов ГГС (более 300 тыс.) должна будет стать физической реализацией уточненной версии СК-95 и национальной высокоточной геоцентрической системы координат.

ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ

Согласно Подпрограмме СГС будет включать в себя построения трех уровней. *Верхний уровень* - ФАГС, состоящая из пунктов постоянных наблюдений с использованием ГЛОНАСС и GPS, а в перспективе и GALILEO. Среднее расстояние между пунктами ФАГС принято равным 1,5 тыс. км. По информации из открытой печати в настоящее время ФАГС включает 38 пунктов, 28 из них открытого пользования, но, как было отмечено выше, процедура доступа к ним не разработана. *Второй уровень* - высокоточная спутниковая геодезическая сеть (ВГС). Среднее расстояние между её пунктами (их должно быть около 250) составляет 300–500 км, точность взаимного положения — 2–3 см. *Третий уровень* - спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1). Среднее расстояние между её пунктами будет составлять порядка 30 км, точность взаимного положения пунктов — 2–3 см. Сеть СГС-1 будет насчитывать около 2 тыс. пунктов. Несмотря на то, что запланированные и выполняемые в рамках Подпрограммы «Создание высокоэффективной системы геодезического обеспечения Российской Федерации» научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы явно отстают от мирового темпа развития геодезических систем и сетей, а собственно выполнение этих работ осуществляется с большими задержками, есть надежда на то, что их реализация позволит в обозримом будущем приблизиться к мировому уровню. Желательно, чтобы к этим работам больше привлекались общественно-научные ресурсы, как это давно практикуется за рубежом, а результаты работ публиковались в открытых печатных изданиях и проходили оценку научной общности.

Система координат 1963 г. и местные системы координат субъектов Российской Федерации находятся в ведении Росреестра. Система СК-63 отменена постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 25.03.87 г. №373-85, но по-прежнему широко используется в России, в том числе на предприятиях горной и нефтегазовой отраслей. Практика показывает, что система СК-63 будет востребована в геодезическом и картографическом производствах России ещё неопределённо долгое время. В СК-63 собраны огромные государственные архивы актуальной информации. Например, весь земельный кадастр и кадастр недвижимости Московской области хранится и пополняется в СК-63. МСК субъектов РФ введены Приказом Росземкадастра от 28 марта 2002 г. №П/256 в целях создания координатной основы для ведения государственного земельного кадастра, государственного мониторинга земель и проведения землеустройства. Данный приказ в полном объёме не был согласован Роскартографией. МСК субъектов РФ являются координатной основой государственного кадастра недвижимости, государственного земельного контроля, землеустройства и мониторинга земель, и поэтому эти системы являются и ещё долго будут являться востребованными в геодезическом и картографическом производстве. Основные параметры СК-63 и МСК субъектов РФ идентичны па-

раметрам государственной геодезической системы координат 1942 года (СК-42), взамен которой введена система СК-95. Системы СК-63 и МСК субъектов РФ – блочные. Координаты пунктов ГГС в СК-63 и МСК субъектов РФ относятся к информации служебного пользования. Ключи перехода от блоков СК-63 и МСК субъектов РФ к СК-42 хранятся в уполномоченных надзорных органах Росреестра и имеют гриф «секретно».

Для упорядочения разработки и использования местных систем координат Постановлением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2007 г. №139 введены «Правила установления местных систем координат». На наш взгляд, новые Правила установления местных систем координат не решили и не решат проблему замены или «легитимизации» СК-63 и МСК субъектов РФ по причинам, изложенным ниже. Ряд ведущих специалистов Роскартографии высказали мнение, что системы СК-63 и МСК субъектов РФ неточные и их дальнейшее применение не оправдано (Г.В. Демьянов, А.Н. Майоров, Г.Г. Побединский. Местные системы координат, существующие проблемы и возможные пути их решения. Геопрофи, №2, 2009). Поэтому авторами со ссылкой на новые Правила установления местных систем координат предложено для каждого субъекта Федерации проектировать т.н. пространственные местные системы координат (ПМСК). Предложено параметры ориентировки этих ПМСК в теле Земли выбирать такими, чтобы координаты опорных геодезических сетей в новой (создаваемой) ПМСК отличались от координат в общеземной геоцентрической и государственной геодезической СК-95 системах координат на величину больше 10 м. Причем параметры ориентировки ПМСК данного субъекта РФ должны быть отличны от пространственных местных систем координат других субъектов РФ. На наш взгляд, это довольно спорное решение для дальнейшей перспективы использования местных систем координат в России, тем более в условиях мировых тенденций, показанных в данной статье. В открытой печати ведётся дискуссия по этому вопросу (например, мнение одного из авторов МСК субъектов РФ Герасимова А.П. (29 НИИ Минобороны России), опубликованное в Геопрофи, №4, 2009). Герасимовым А.П. в соавторстве с Назаровым В.Г. выпущена также монография «Герасимов А.П., Назаров В.Г. Местные системы координат. – М: ООО «Издательство «Проспект», 2010. – 64 с.». Можно только надеяться на то, что к этому мнению прислушаются те, от кого напрямую зависит перспектива развития использования местных систем координат в России.

Краткие итоги

Проведённый в статье анализ показывает, что в мире за последние 15-20 лет произошли и нарастают кардинальные преобразования в развитии, поддержке и использовании наземных опорных систем и сетей, что напрямую влияет на собственно геодезическую и смежные виды деятельности (в т.ч. маркшейдеру). Поддержание и развитие наземных опорных систем и сетей отличается высочайшим уровнем

международной кооперации, применением самых современных телекоммуникационных технологий, вовлечением в этот поистине всемирный процесс всё больше и больше участников: от стран до отдельных индивидуумов. Уже начаты работы по созданию синергетических (самоорганизационных) ресурсов наземных опорных систем и сетей для их более эффективной интеграции с инфраструктурами и коммуникационными сетями других технологий наблюдения Земли. Количество только крупных международных проектов, в которых задействованы наземные опорные системы и сети, исчисляется десятками, а их совокупный бюджет исчисляется, как нам представляется, десятками миллиардов долларов. Кроме того, все эти работы и проекты очень гуманны и интересны в плане общечеловеческих ценностей.

К сожалению, Россия оказалась на периферии этих процессов, развитие наземных опорных систем и сетей в России, в том числе на предприятиях горной и нефтегазовой отраслей, существенно отстаёт от мирового уровня, а т.к. существующий мировой уровень достигался в течение последних 15-20 лет, то этот период является показателем нашего отставания. Это отставание не должно, по крайней мере, нарастать, для чего, не вдаваясь в компетенцию Росреестра и его ведущих специалистов, можно задуматься о следующем.

1. Необходимо внимательно изучить зарубежный и мировой опыт и сделать из него профессиональные и правильные выводы. Нехватку средств на зарубежные контакты можно было бы пополнить не только за счёт бюджета Росреестра, но и за счёт предприятий и учреждений, заинтересованных в развитии наземных опорных систем и сетей в России. Вовлечь как можно большее количество специалистов, связанных с геодезией, в международные контакты (путём не только поездок на зарубежные мероприятия, но и общения по Интернету).

2. Необходимо преодолеть исторически сложившийся монополизм на геодезическую деятельность в России только уполномоченного федерального органа исполнительной власти. Снять межведомственные барьеры, чтобы в развитии наземных опорных систем и сетей в России могли участвовать маркшейдеры, геологи, геофизики, строители, штурманы всех видов транспорта и ещё многие представители разных профессий, связанных с геодезией, а также отраслевые учебные и научные учреждения. Это уже давно сделано в Евросоюзе, странах Северной и Южной Америки, Азии и Африки. Создать межведомственный экспертный совет по наземным опорным системам и сетям в России (хотя бы общественный).

3. Необходимо снять гриф секретности с коор-

динат геодезических пунктов на тех территориях, где это возможно по соображениям безопасности.

4. Необходимо провести интеграцию опорных сетей внутри России. Установить все необходимые параметры связи. Определиться с местными системами координат. Провести интеграцию опорных сетей России с глобальными международными и зарубежными опорными сетями (ITRF, EPN и др.). Повысить уровень международного признания и статуса российских опорных систем и сетей. Сделать систему ПЗ по-настоящему общероссийской и международной, технологически и юридически максимально интегрировать её с ITRS.

5. Необходимо выпустить разрешительные документы на открытое использование всех технически подготовленных опорных сетей России (в т.ч. созданных в смежных отраслях, например, сетей РАН, маркшейдерских сетей) в топографо-геодезических, картографических, кадастровых, маркшейдерских, градостроительных, изыскательских и навигационных работах с предварительным приданием пунктам таких опорных сетей статуса геодезических пунктов. Реализовать продуманную схему оплаты услуг по предоставлению потребителям координат геодезических пунктов, в том числе через Интернет.

6. Необходимо создать правовые, организационные и технологические возможности создания (оформления) заявочным порядком на базе ГГС и КГС мониторинговых пунктов с приданием им соответствующего статуса (см. опыт США и Евросоюза).

7. Необходимо повысить уровень профессиональной подготовки геодезистов, маркшейдеров и других прикладных специалистов, в том числе в горной и нефтегазовой отраслях, для обеспечения возможности своевременного и качественного внедрения новых геодезических технологий, в том числе на предприятиях горной и нефтегазовой отраслей. Для аспирантов и соискателей, претендующих на диссертационные исследования в области опорных систем и сетей, существенно повысить требования по знанию английского языка, без знания которого невозможно даже понять некоторые современные вопросы их развития.

8. Необходимо маркшейдерскому сообществу России провести всероссийскую конференцию по поднятым вопросам с приглашением ведущих российских и зарубежных специалистов.

9. Может быть, пора обратить на эту проблему внимание руководства нашего государства.

Уважаемые читатели! Со всеми упомянутыми в статье Приложениями можно будет ознакомиться на web-сайте: navigals.ru, начиная с января 2011 года.

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