

«ТРИ ИСТОЧНИКА И ТРИ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ» ГЕОДЕЗИИ: ГЕОМЕТРИЯ, ГРАВИМЕТРИЯ, АСТРОМЕТРИЯ

Кафтан В.И., д.т.н., главный научный сотрудник Геофизического центра РАН

Современное состояние общества, в первую очередь, нашего государства создает условия для необоснованного пересмотра устоявшихся ранее понятий. Как в устном общении, так и в печати нередко возникают дискуссии о том, **что сегодня представляет собой геодезия**. При этом некоторые авторитетные специалисты сводят содержание геодезии к решению исключительно геометрических задач, а иные выпускники геодезических вузов, занимающие высокие посты в научно-исследовательских институтах, как ни странно, вообще не считают геодезию наукой. Несмотря на то, что сегодня все чаще и чаще участие в дискуссиях не приводит к разумным решениям, на наш взгляд, все-таки полезно обратить внимание читателя на современное представление геодезии сообществом международных научных организаций, в составе которых сегодня российские исследователи практически не участвуют. Причиной тому видится всё то же состояние нашего государства и его отношение к науке.

Шутливое название для данной публикации не имеет отношения к философским работам начала прошлого столетия. Оно было выбрано под влиянием

обобщения, сделанного инициаторами создания глобальной системы геодезических наблюдений при описании задач современной геодезии на созданном ими интернет-сайте этой системы (см. рис.1), где одна из главных страниц сайта именовалась как: «Три столпа геодезии (Three pillars of geodesy)».

На вопрос: «Что такое геодезия?», например, вице-президент Международной ассоциации геодезии (МАГ) Крис Ризос отвечает следующее [6]:

- «Geodesy is “the branch of science concerned with:
 - the determination of the size and shape of the Earth,
 - the exact position of points on, above or within the Earth, &
 - a description of its variable gravity field.” (Classical defn.)
- Geodesy is also a geoscience that contributes to our understanding of the solid Earth, Atmosphere & Oceans.»

В нашем переводе:

- Геодезия это научная область, обеспечивающая:
 - определение размера и формы Земли,
 - определение точного положения пунктов на Земле, над Землей,

или внутри Земли, и — описание ее гравитационного поля. (Классическое определение)

- Геодезия является также наукой о Земле, вносящей вклад в наше понимание твердой Земли, атмосферы и океанов.

Итак, мы видим, что профессионалы международных научных организаций констатируют, что область исследований геодезии сегодня существенно расширилась вплоть до изучения океана и атмосферы. В этой связи, мы напоминаем, что некоторые российские специалисты, пытаясь упорядочить понятийный аппарат и систематизировать современный спектр геодезических применений, что сегодня вполне оправдано, тем не менее, необоснованно ограничивают метод геодезии как науки, сводя его к исключительно геометрическому, а иные крайние мнения вообще «изгоняют» геодезию из сферы научной деятельности. На наш взгляд, причинами таких «новаций» являются недостаточная осведомленность о достижениях геодезии в мире, а также наше глубокое технологическое отставание, в какой-то мере компенсируемое пока еще достаточно высоким уровнем российских теоретических исследований.

Несколько десятилетий тому назад человечество вступило в эпоху глобальных наблюдений. Сегодня глобальные геодезические сети представлены огромным комплексом современных высокотехнологичных измерительных средств. В настоящее время их гармонично объединяет Глобальная Система Геодезических Наблюдений (GGOS).

Общее представление об этой системе и ее главных задачах можно получить из интернета.

В своем определении задач геодезии вице-президент МАГ не отразил, или как-то «затенил» одну из трех сфер ее «охвата» — это определение параметров вращения Земли. В этой области геодезия сегодня (а, впрочем, и прежде) выступает вместе с астрономией, а конкретной, с одним из ее разделов — астрометрией. В то же время можно сказать, что сегодня, уже в космическую эру, в структуре геодезии ничего неожиданно нового не происходит. Она лишь выходит на качественно более высокий технологический уровень. Как и прежде, астрономо-геодезия и гравиметрия — это главные фундаментальные разделы геодезии. Как справедлива, иногда, бывает, несмотря на иронию, известная мудрость: «Всё новое — это хорошо забытое старое». Просто современным новаторам не следует забывать, чему учили авторы классических учебников по высшей геодезии. К изучению атмосферы и океанов, о чем вице-президент МАГ сообщает, как о новации, геодезия и прежде имела достаточно близкое отношение. В качестве примеров можно взять исследования атмосферной рефракции и наблюдения за уровнем моря. Но, заглядывая в прошлое, можно обнаружить также и потери геодезических «сфер влияния». Так, до изобретения атомных часов хранением и поддержанием общей шкалы времени в нашей стране занимались геодезические организации, высшие учебные заведения и научно-исследовательские инсти-

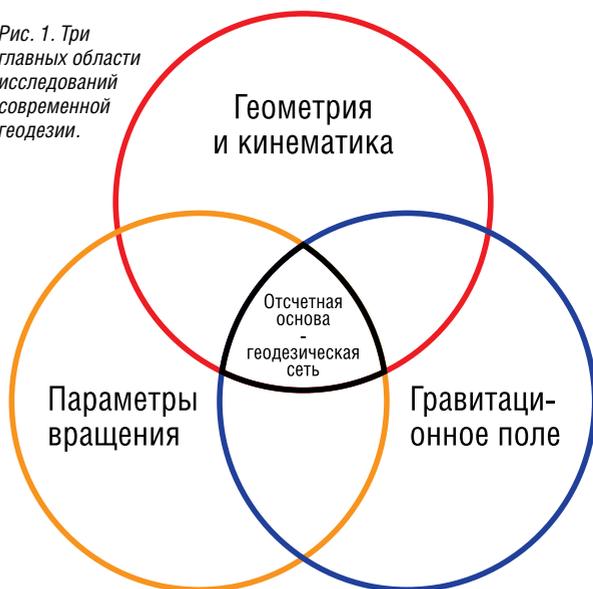
туты, совместно с астрономическими институтами. В 1964-1976 гг. в СССР функционировала объединенная Служба времени ГАИШ и ЦНИИГАиК. Сегодня служба времени не входит непосредственно в сферу геодезической деятельности, хотя остается, и будет всегда оставаться, тесно связанной с результатами решения задач современной астрономо-геодезии. Причиной тому является подчиненность человеческой жизни космическим колебательным процессам.

Сегодня в рамках деятельности GGOS рассматриваются три главных области исследований: геометрические и кинематические характеристики Земли, изменения гравитационного поля Земли, параметры вращения и ориентации Земли в космическом пространстве (рис.1). Отсюда можно понять, что современная геодезия, рожденная геометрией, на протяжении многих лет, тесно взаимодействуя с астрономией, использует достижения многих других областей, не только математики, но и физики.

К основным задачам GGOS относятся:

- Развитие высокоточной координатной основы — станového хребта всех других наблюдательных систем. Обеспечение функционирования инфраструктуры системы и наблюдений с целью определения и создания точной и стабильной земной отсчетной основы — базиса всех других

Рис. 1. Три главных области исследований современной геодезии.



систем глобальных наблюдений;

- Наблюдение главных переменных Земли, таких как изменения гравитационного поля и параметры вращения. Обеспечение наблюдений как за изменениями геометрической фигуры и параметров вращения «твердой» Земли, так и за изменениями ее гравитационного поля;
- Контроль движений и изменений в конкретных районах; региональные сгущения наземных сетей ГНСС; расширение сетей уровневых наблюдений, контроля ледников, тектонически активных районов. Определение баланса масс, исследование кинематики твердой Земли, циркуляции океанов и морей, контроль изменений уровня моря, и др.

Главная тема GGOS — «Процессы деформации и перераспределения масс в глобальной земной системе» —

включает в себя международную деятельность в следующих направлениях исследований:

- изучение глобальных тенденций тектонических деформаций;
- изучение глобальных тенденций всех типов изменений высот;
- исследование деформаций за счет перераспределения масс в твердой Земле, атмосфере и гидросфере, включая ледники;

- изучение взаимосвязи углового момента и перераспределения масс.

Современные средства геодезических измерений поставляют информацию не только об изменениях геометрической формы Земли и ее гравитационного поля, но также о глобальных изменениях состояния атмосферы (GPS и другие средства космической геодезии) и гидросферы (спутниковая альтиметрия).

"ТРИ СТОЛПА" ГЕОДЕЗИИ

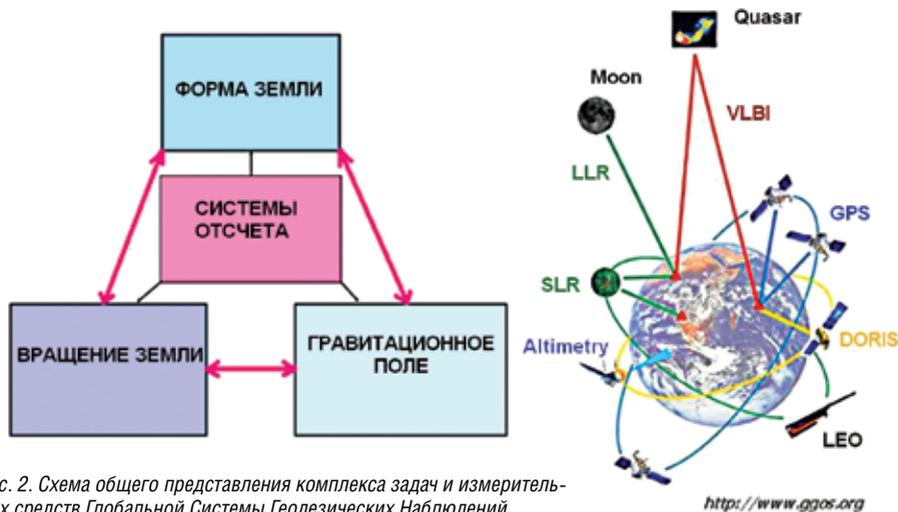


Рис. 2. Схема общего представления комплекса задач и измерительных средств Глобальной Системы Геодезических Наблюдений.

ПОЯСНЕНИЯ К СХЕМЕ:

СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

РСДБ, лазерная локация Луны и спутников, GPS, DORIS, гравиметрия

ФОРМА ЗЕМЛИ

GPS, альтиметрия, INSAR, дистанционное зондирование, нивелирование, уровень моря, гравиметрия

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

РСДБ, лазерная локация Луны и спутников, астрометрия, кольцевые лазеры, гиросистемы

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

Анализ орбит, морская и воздушная гравиметрия, абсолютная гравиметрия, модели гравитационного поля

Основные измерительные средства, используемые GGOS (рис. 2), представлены в приведенной таблице, где

приведены объективные оценки их современной точности.

ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

в системе Глобальных Геодезических Наблюдений и их характеристики

Метод	Характеристика	Точность	Компоненты координатного обеспечения
РСДБ (Радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой)	Определение расстояний и координат в небесной системе отсчета	$D \cdot 10^{-13}$ 0,0001"	Вращение Земли, отсчетная основа, движения земной поверхности
Лазерная локация спутников	Определение координат	1–2 см	
ГНСС		1–2 см (эпизодически) 1–2 мм (непрерывно)	
DORIS (Доплеровская орбитографическая система, интегрированная спутниками)		1–5 см	
Спутниковая альтиметрия		Определение высоты геоида	~ см
Нивелирование	Определение превышений	<1 мм/км ^{1/2}	Отсчетная основа, движения земной поверхности
Абсолютные гравиметры	Абсолютные ускорения силы тяжести	2–3 мкГал	
Сверхпроводимые гравиметры	Относительные ускорения силы тяжести	0,1 мкГал	Отсчетная основа, сила тяжести, движения земной поверхности, вращение Земли
Статические гравиметры		2–3 мкГал	
			Сила тяжести, отсчетная основа

Одним из новейших типов наблюдательных средств в системе GGOS является кольцевой лазер (рис. 3). В октябре 2001 года крупнейший в мире и наиболее точный кольцевой лазер установлен глубоко под землей в Ветцеле (Германия) [7]. Изготовленный фирмой Карл Цейс и оборудованный Федераль-

ной службой геодезии и картографии Германии, Техническим университетом Мюнхена и Университетом Кантерберри (Новая Зеландия), большой кольцевой лазер «G» определяет параметры вращения Земли с беспрецедентной точностью. Эти параметры используются, например, спутниковыми

навигационными системами, опирающимися на глобальные системы отсчета. Измерительная информация кольцевых лазеров также представляет интерес для исследований сейсмической активности.

«G» имеет размер 4x4 м и вес более 10 тонн, установлен на

десятитонный гранитный постамент, опирающийся на бетонный пилон, заглубленный на 11 м. Лазер способен измерять вариации скорости вращения Земли в пределах 0,1 миллисекунды.

Несмотря на то, что новая система глобальных наблюдений организована относительно недавно (несколько лет со дня основания), глобальные геодинамические эффекты определялись и учитывались в геодезии непрерывно на всем протяжении ее развития. Эти комплексные исследования выполнялись и выполняются в рамках деятельности Международного союза геодезии и геофизики, Международной ассоциации геодезии, Международного астрономического союза и других организаций.

Для демонстрации многообразия задач современной геодезии перечислим действующие на настоящий момент многофункциональные службы Международной ассоциации геодезии [5], обеспечивающие научное сообщество и массового пользователя про-



Рис. 3. В помещении лаборатории — доктор У.Шрейбер, научный руководитель проекта Научно-исследовательского института спутниковой геодезии Технического университета Мюнхена [7].

дукцией, предназначенной не только для геодезического применения, но также и для других сфер науки и практики. Это следующие международные службы:

1. Международная служба глобальных навигационных спутниковых систем (IGS).
2. Международная служба радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) для геодезии и астрометрии (IVS).
3. Международная служба лазерной локации спутников (ILRS).
4. Международное гравиметрическое бюро.
5. Международная служба геоида.
6. Международный центр земных приливов.
7. Международная служба вращения Земли и систем отсчета (IERS).
8. Международная служба DORIS.
9. Международная служба гравитационного поля.
10. Международный центр глобальных

моделей Земли.

11. Международный центр цифровых моделей рельефа.

12. Постоянная служба наблюдений за средним уровнем моря.

13. Секция времени Международного бюро мер и весов.

14. Международная служба спутниковой альтиметрии (IAS).

15. Библиографическая служба МАГ.

О многодисциплинарном характере современной геодезии убедительно рассказывается, например, в публикации руководителя международной группы по разработке современной теории нутации Вероники Деант «Международная и государственная геодезия и ее три составные части: 1) геометрия и кинематика, 2) ориентация и вращение Земли и 3) гравитационное поле и изменения их параметров» [4], где, в частности, цитируются следующие слова руководителя Глобального центра геофизических флюидов Б.Чао [3]:

«После трех десятилетий существования и трех порядков совершенствования, космическая (пространственная) геодезия стала подходящей для получения наилучших результатов в наблюдении интегрированных характеристик перемещений масс, происходящих в земной системе от верхних слоев атмосферы до земного ядра. В таком качестве космическая геодезия становится новым средством дистанционных наблюдений за климатическими и геофизическими изменениями при её всё возрастающих чувствительности и разрешении.

Переносы масс и энергии являются ключевыми процессами, определя-

ющими динамику земной системы. Земная система может быть хорошо представлена ее компонентами, так называемыми геофизическими флюидами — атмосферой, гидросферой, криосферой, биосферой, литосферой и глубокими областями мантии и ядра. Геофизические флюиды подвержены влиянию процессов перемещения масс по разным причинам, как внешним, так и внутренним. Изучение этих процессов, без сомнения, является наиболее междисциплинарной сферой всех наук о Земле.» (переведено мной — В.К.).

Заметим, что уже более полувека тому назад известный российский геодезист и геофизик М.С.Молоденский предсказывал современное состояние геодезии [2]. Он рассматривал три последовательных стадии ее развития: статическую, кинематическую и динамическую. Вступление геодезии в ее динамическую стадию сегодня подтверждается результатами деятельности в рамках международной научной кооперации, в которой, как мы уже упоминали, российские геодезисты почти не участвуют.

Развитие общества сопровождается двумя противоположными процессами — дифференциации и интеграции научных и технологических направлений, что характерно, в частности, и для геодезии. С ростом общественных потребностей и усложнением технологий происходит дробление и обособление научных и технологических дисциплин. Примером тому является процесс умножения геодезических дисциплин. Так, в начале прошлого столетия в России практиковались лишь высшая гео-

дезия и низшая геодезия (последняя в отечественной терминологии сегодня именуется просто геодезией). Сегодня можно насчитать не менее десятка терминов, обозначающих различные геодезические направления. Попробуем перечислить существующие термины, составляющие совокупность геодезических дисциплин и узких направлений, имеющих в своих названиях слово «геодезия»:

геодезия* (в раннем толковании — низшая геодезия и топография), высшая геодезия, астрономо-геодезия, прикладная геодезия* (ранее — инженерная геодезия), космическая геодезия*, спутниковая геодезия*, аэрофотогеодезия, наземная геодезия, пространственная геодезия, теоретическая геодезия, математическая геодезия, сфероидическая геодезия, геометрическая геодезия*, физическая геодезия*.

М.С.Молоденским, как говорилось выше, была предложена классификация, содержащая статическую, кинематическую и динамическую геодезии.

Теснейшим образом связаны с геодезией и немислимые без ее использования основные научные и технологические дисциплины: астрономия, гравиметрия, теория фигуры и гравитационного поля Земли, физика Земли, геодинамика, геоинформатика, картография, география, навигация и целый ряд других важных научных и технологических дисциплин.

Фундаментом всех упомянутых дисциплин и направлений являются математика и физика. Особое и одно из важнейших мест в геодезических дисциплинах, в отличие от многих других, занимает метрология.

Говоря о наблюдаемой дифференциации, следует отметить иногда искусственное стремление создать некоторое новое направление, что приводит к их неоправданному умножению. Например, в рамках предстоящей Генеральной ассамблеи Международного союза геодезии и геофизики, в названии одного из симпозиумов фигурирует новое понятие «*тектоническая геодезия*». Заметим, что председателями этого симпозиума являются профессионалы смежных областей наук о Земле. Появляется термин «*сейсмическая геодезия*». Столь же странным, на наш взгляд, является и новый термин «*геоматика*», применяемый за рубежом, и даже именующий государственный орган по геодезии и картографии в Канаде.

В зарубежной, т.е. международной, практике, за исключением некоторых государств бывшего социалистического лагеря, среди вышеперечисленных геодезических терминов встречаются, главным образом, научные дисциплины и направления, отмеченные в перечне звездочкой «*». Например, профессор Графаренд подразделяет в своих трудах геодезию на геометрическую и физическую. Профессор Бурша применяет термин «космическая геодезия» в противовес спутниковой геодезии и астрономо-геодезии. Три данных направления, во многом повторяю-

щие друг друга, сегодня конфликтуют между собой. Достаточно трудно найти принципиальные различия в содержании этих дисциплин, имеющих устоявшиеся названия. На наш взгляд, различием в содержании космической и спутниковой геодезий сегодня является только невозможность отнесения к спутникам внегалактических радиоисточников (квazarов). В то же время, как спутники Земли (естественные и искусственный), так и квазары — это астрономические объекты, используемые в геодезических измерениях, но тогда всё это сегодня непосредственно относится к астрономо-геодезии. Это обстоятельство, не говоря о других, на наш взгляд, легче преодолимых противоречиях, создает определенную путаницу в классификации геодезических дисциплин. Тем не менее, в российских геодезических ВУЗах существуют официальные образовательные специальности: астрономо-геодезия и космическая геодезия. При этом в их содержании не наблюдается существенного взаимного дублирования. Учебная программа астрономо-геодезии имеет существенный и естественный акцент в сторону изучения физических полей (гравитационного, геодеформационного, атмосферных физических характеристик), в то время как космическая геодезия направлена на изучение и совершенствование методов высшей геодезии, использующих космические измерительные средства. На наш взгляд, было бы более близким к ее содержанию и гармонизированным с международным опытом называть специальность, сегодня именуемую в

российских ВУЗах астрономо-геодезией, физической геодезией, как это предложено Г.В. Демьяновым. Даже построение государственных, а сегодня и глобальных, геодезических сетей, являющееся предметом традиционной астрономо-геодезии, представляет собой не что иное, как **физическую** реализацию геодезической системы отсчета, что также не противоречит использованию термина физическая геодезия, тем более, что данные системы отсчета необходимы для решения широкого круга именно физических задач.

Это предложение вовсе не означает переименования и не умаляет значимости собственно научной дисциплины астрономо-геодезии. Нам кажется, что оно устоялось и еще долго сохранится в использовании.

Необходимость комплексного решения непрерывно усложняющихся задач приводит к интеграции различных дисциплин и требует выработки некоторого объединяющего термина. Именно таким термином и дисциплиной, по нашему мнению, является астрономо-геодезия. Если обратиться к международному опыту, где термин «астрономо-геодезия» применяется крайне редко, таким объединяющим термином является просто «геодезия», что, на наш взгляд, вполне естественно и не приводит к конфликтам интересов.

Инициаторы проекта GGOS акцентируют внимание на присущей современному обществу **неосведомленности в социальной необходимости геодезии**, если не в пренебрежении к ней. Одной из задач GGOS является популяризация геодезии как научной и

технологической дисциплины. К сожалению, это пренебрежение характерно и для России, особенно в связи с массовым использованием средств спутниковых определений координат, сегодня во многих случаях не требующем специальной подготовки. Сегодня может показаться, что достаточно уметь нажимать нужные кнопки на спутниковых приемниках, вмонтированных в карманные компьютеры, автомобильные ноутбуки, мобильные телефоны и др. Вместо «определение координат» мы все чаще слышим чужое в русском языке слово «геопозиционирование», даже из уст преподавателей геодезических вузов. Вместо «геодезических сетей» мы встречаем «*сети СРНС*», где в аббревиатуре отсутствует слово «геодезия». Три десятилетия назад профессор Ю.В.Плахов на своих лекциях объяснял студентам МИИГАиК, что «*дальность*» — это жаргонное слово, заменяющее геодезический термин «расстояние». Сегодня с легкой руки разработчиков СРНС (спутниковых радионавигационных систем) повсюду используется жаргонный термин «*псевдодальность*». Некоторые специалисты по космической и навигационной технике утверждают, что геодезия — это пользователь СРНС, обещая точные координаты «сбрасывать» геодезистам из космоса, при этом не осознавая, или забывая, что координаты спутников определяются по отношению к координатам глобальных наземных сетей. Такие взгляды бытуют на высоком управленческом уровне, и это, на наш взгляд, не принесет пользы обществу. В литературе по СРНС край-

не редко встречается слово «геодезия»! Одним из немногих примеров использования слова «геодезия» является система отсчета WGS84. На состоявшемся недавно в Москве форуме по спутниковой навигации повсеместно звучали такие «новые» термины, как «*спутниковое позиционирование*», «*геопозиционирование*», «*мониторинг*» и др. Но, отвечая на вопрос о достигаемой точности «*позиционирования*», авторы, почему-то, демонстрировали ошибки определения координат, а не «*позиций*». Всё это свидетельствует о том, что общество забывает о геодезии, не ощущает ее необходимости. Эти тенденции нам представляются неестественными.

На эти проблемы хотелось бы обратить внимание геодезистов и предпринять усилия к устранению неблагоприятных тенденций, обусловленных некомпетентностью, нередко — амбициями, но, в первую очередь, неестественными причинами, связанными с распределением бюджетных финансовых средств. Посещая в интернете GPS-клубы, GPS-форумы, форумы ГИС-ассоциации и др., можно убедиться в неосведомленности широких кругов поставщиков услуг и пользователей глобальных систем спутникового определения координат в состоянии геодезических научных и технологических достижений и необходимости их применения для получения достаточно точных координат. Думаю, что *Форум геодезистов* просто необходим и должен быть создан, например, на интернет-сайте МИИГАиК.

Хотелось бы выразить убеждение, что астрономо-геодезия, как фундамен-

тальный раздел геодезии, сохраняет и будет сохранять свое важное значение, в то же время учебная специальность, преподаваемая в геодезических ВУЗах, более соответствует направлению физической геодезии.

Не претендуя на полноту и завершенность, осмелимся предложить собственное определение понятия «геодезия»:

Геодезия — одна из наук о Земле, точная наука о фигуре, гравитационном поле, параметрах вращения Земли и их изменениях во времени. Тесно взаимодействует с астрометрией в области изучения прецессии, нутации, движения полюса и скорости вращения Земли. В технологическом аспекте геодезия обеспечивает координатными системами отсчета и координатными основами различные сферы человеческой деятельности. Метод геодезии опирается на широкий спектр достижений математики и физики, обеспечивающих изучение геометрических, кинематических и динамических свойств Земли в целом и отдельных ее участков.

Более исчерпывающее определение и описание разделов современной геодезии можно найти в рабо-

те [1], где также можно почерпнуть много информации, дающей обширное представление о разнообразии геодезических задач и методов их решения.

В заключение отметим, что сегодня как никогда ранее необходимо единство взглядов на бережное отношение к геодезии, особенно в среде профессионалов в области геодезической деятельности. Эта необходимость обусловлена современным критическим состоянием государственной геодезической отрасли, каковой сегодня реально не существует. Государство стремится минимизировать расходы на глобальные и государственные геодезические задачи и перевести их в сферу коммерческой деятельности. Окологеодезические персоны от коммерции активно способствуют растаскиванию единой структуры государственных задач, с целью удовлетворения собственных корыстных интересов. Стыдно осознавать, что, например, небольшие европейские государства сегодня принимают гораздо большее участие в развитии не только национальной, но и глобальной геодезии, чем одно из крупнейших государств мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гравиметрия и геодезия. - М.: Научный мир, 2010. - 572 с.
2. Пеллинин Л.П. Высшая геодезия. (Теоретическая геодезия). - М.: Недра, 1978. - 264 с.
3. Chao, B.F., *Geodesy is not Just for Static Measurements Anymore, EOS-Transactions, Vol.84, No.16, 145-150, 2003.* Rummel, R., H. Drewes, W.Bosch, H. Hornik (eds.).
4. Dehant V., 2005, "International and national geodesy and its three pillars: (1) geometry and kinematics, (2) Earth orientation and rotation, and (3) gravity field and its variability.", in: Proc. Earth Sciences day of the CNBGG «Geodesy and geophysics for the third millennium?», Belgian Academy of Sciences, October 13, 2005, eds. E. Arijis and B. Ducarme, pp. 27-35.
5. *Geodesist's Handbook of the IAG. -2008. - DOI 10.1007/s00190-008-0259-0.*
6. Rizos C. *Modern Geodesy, GNSS Surveying, and their Contribution to a Greater Understanding of "System Earth" / FIG Working Week, Commission 5, Stockholm, Sweden, 14-19 June 2008 (presentation).*
7. Schreiber U., Schlueter W., Weber H. *Always knowing precisely how fast the Earth is tuning // Innovation 10, Carl Zeiss, 2001 - p. 18-19.*