

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РФ. ВЫСОТНОЕ И ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В.П. Горобец (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)

В 1976 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». После окончания института работал в ЦНИИГАиК, с 1980 г. — в 29-м НИИ МО РФ. С 2001 г. — научный сотрудник, заведующий координационно-методическим и информационно-вычислительным центром ЦНИИГАиК. С 2013 г. работает в ФГБУ «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных», в настоящее время — начальник отдела глобальных навигационных спутниковых систем.

Г.В. Демьянов (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)

В 1963 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в ЦНИИГАиК, с 1996 г. — заведующий геодезическим отделом ЦНИИГАиК. С 2005 по 2010 г. — заведующий кафедрой «Высшая геодезия» МИИГАиК. С 2013 г. работает в ФГБУ «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных», в настоящее время — директор. Доктор технических наук. Лауреат премии Ф.Н. Красовского. Заслуженный работник геодезии и картографии РФ.

А.Н. Майоров (08.07.1960–30.10.2012)

В 1982 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Предприятии № 16 ГУГК при СМ СССР (Баку), с 1985 г. — ОКЭ №131 Предприятия № 7 ГУГК при СМ СССР (Тверь), с 1989 г. — младший научный сотрудник, научный сотрудник, старший научный сотрудник геодезического отдела ЦНИИГАиК. В 1993 г. окончил аспирантуру ЦНИИГАиК. Кандидат технических наук.

Г.Г. Побединский (ЗАО «Научно-производственное объединение геодезии и геодинамики», Нижний Новгород)

В 1980 г. окончил геодезический факультет НИИГАиК (СГГА) по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал в НИИ прикладной геодезии («Сибгеоинформ», Новосибирск). В 1986 г. окончил аспирантуру ЦНИИГАиК, затем работал в Московском АГП. С 1992 г. — генеральный директор Верхневолжского АГП (Нижний Новгород), с 2006 г. — заместитель руководителя Федерального агентства геодезии и картографии (Роскартография), с 2010 г. — заместитель директора ЦНИИГАиК, с 2012 г. — генеральный директор, заместитель генерального директора ОАО «Роскартография». С 2013 г. работает в ЗАО «Научно-производственное объединение геодезии и геодинамики», в настоящее время — заместитель директора по научной работе. Кандидат технических наук. Заслуженный работник геодезии и картографии РФ.

При развитии системы геодезического обеспечения традиционными методами и средствами (до широкого применения спутниковых технологий) координатное, высотное и гра-

виметрическое обеспечения развивались достаточно обособленно друг от друга. Это было связано с тем, что существовавшие тогда методы и средства геодезических измерений

требовали развития плановых, нивелирных и гравиметрических сетей в различных местах расположения геодезических пунктов и при различных конструкциях этих пунктов. Се-

ти триангуляции и полигонометрии как плановое обоснование строились в виде правильных геометрических фигур в местах, обеспечивающих прямую видимость между смежными пунктами. Нивелирные сети как высотное обоснование в основном развивались в виде нивелирных линий вдоль транспортных магистралей. Высокоточные гравиметрические сети как основа построения гравиметрических карт создавались, как правило, в непосредственной близости к населенным пунктам.

Спутниковые технологии геодезических измерений дают возможность объединения плановых, нивелирных и гравиметрических сетей в единую совокупность геодезических пунктов, обеспечивающих развитие и взаимосвязь этих трех составляющих системы геодезического обеспечения, как единой геодезической категории. Продолжая тему развития геодезического обеспечения страны (см. Горобец В.П., Демьянов Г.В., Майоров А.Н., Побединский Г.Г. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат // Геопрофи. — 2013. — № 6. — С. 4–9), авторы рассматривают новые принципы создания системы нормальных высот, развития высотного и гравиметрического обеспечений.

▼ Развитие государственной системы высот

До настоящего времени основным средством создания высокоточной высотной основы остается метод геометрического нивелирования. Государственная нивелирная сеть России разделяется на сети I, II, III и IV классов. Основой системы нормальных высот являются сети высокоточного нивелирования I и II классов государственной нивелирной

сети. Они получили название главной высотной основы (ГВО). Общая протяженность сетей нивелирования I и II классов составляет порядка 400 тыс. км. Схема главной высотной основы представлена рис. 1. На основе пунктов нивелирования I и II классов развивается сеть государственного нивелирования III и IV классов.

В системе высотного обеспечения нормальные высоты определяются от одного исходного пункта методом геометрического нивелирования. За исходный пункт на территории России принят урнемерный пост, расположенный в Кронштадте (Кронштадтский футшток), в котором средний многолетний уровень Балтийского моря соответствует нулю в значении нормальной высоты. При использовании урнемерных постов в качестве исходных пунктов для определения начала счета высот подразумевается совпадение среднего уровня всех морей в этих пунктах с поверхностью геоида. Таким образом, вся нивелирная сеть на территорию России опирается на один исходный пункт, не имеет внешнего контроля и уравнивается как свободная система.

Балтийская система высот 1977 года

В настоящее время на территории Российской Федерации действует Балтийская система высот 1977 года, которая реализована совокупностью реперов государственной нивелирной сети I–IV классов. Действующая Балтийская система высот 1977 года, после очередного цикла уравнивания нивелирной сети СССР была введена приказом ГУГК при СМ СССР и ВТУ ГШ ВС СССР от 05.06.1978 г. № 7/155 «О введении в действие каталога главной высотной основы СССР».

нивается как свободная система.

Геометрическое нивелирование является наиболее трудоемким и дорогостоящим методом в системе геодезического обеспечения. Развитие спутниковых технологий создает возможность эффективного использования ГНСС в системе высотного обеспечения. В соответствии с теорией М.С. Молоденского существует теоретически строгое соотношение, устанавливающее связь геодезических (эллипсоидальных) H^G и нормальных высот H^N :



Рис. 1

Схема главной высотной основы РФ

Проблемы установления и использования единой государственной системы высот

Значительная часть существующих равномерных постов, созданных различными ведомствами на морских побережьях, крупных водохранилищах и реках, имеют высоты в существовавших ранее системах высот (Охотской, Восточно-Сибирской, Тихоокеанской, Балтийско-Черноморской), а также в условных, принятых при проектировании и строительстве водных объектов (таких как «система высот Волгостроя», «Беломорская система высот», «система высот Истростроя» и т. п.), отличающихся от Балтийской системы высот 1977 года. Условные системы высот некоторых крупных водохранилищ отличаются от Балтийской системы высот 1977 года на величины от $-0,18$ м до $+0,88$ м:

- каскад Нивских водохранилищ (Мурманская обл.) $+0,88$ м;
- Нижнетуломское водохранилище (Кольский полуостров) $+0,275$ м;
- Ивановское водохранилище (Московское море) $-0,11$ м;
- Угличское водохранилище $-0,18$ м;
- Рыбинское водохранилище $-0,19$ м;
- Братское водохранилище (Иркутская обл.) $+0,27$ — $+0,35$ м;
- озеро Байкал и Иркутское водохранилище $+0,41$ — $+0,52$ м.

$$H^G = H^r + \zeta, \quad (1)$$

где ζ — высота квазигеоида по гравиметрическим данным.

Несоблюдение этого условия связано только с погрешностями измерений.

Таким образом, применение спутниковых технологий в системе высотного обеспечения требует построения точного квазигеоида по гравиметрическим данным. В свою очередь, при выполнении гравиметрических измерений необходимо знать нормальную высоту в гравиметрических пунктах. Эти требования и обуславливают тесную взаимосвязь в развитии координатного, высотного и гравиметрического обеспечения на новом, более высоком уровне точности [1].

Важным аспектом применения гравиметрических (ζ) и спутниковых (H^G) данных в системе высотного обеспечения

является развитие метода спутникового нивелирования как возможной альтернативы наиболее трудоемким и дорогостоящим методам геометрического нивелирования.

Использование спутниковых технологий в системе высотного обеспечения в этом случае не следует рассматривать в качестве альтернативы высокоточного геометрического нивелирования I и II классов. На данном этапе развития системы геодезического обеспечения методы спутникового нивелирования целесообразно применять при определении нормальных высот с точностью государственного нивелирования III и IV классов.

По нашему мнению, данные высокоточных измерений ГНСС в системе высотного обеспечения следует использовать в целях контроля главной высотной основы и достоверности современных вертикальных движений земной поверхности, а также повышения точности передачи значений нормальных высот от исходного пункта (Кронштадтский футшток) на территорию Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Следует отметить, что совместный анализ нивелирных и

спутниковых данных с использованием равенства (1) и данных высот квазигеоида, выполненный ранее в ЦНИИГАиК, подтверждает оценку точности ГВО, для Европейской части России, а для территории Восточной Сибири и Дальнего Востока различие между спутниковыми и нивелирными данными втрое превосходит их априорную оценку точности.

В этих условиях принятая концепция связи пунктов ФАГС с реперами нивелирования I класса и пунктов ВГС с реперами нивелирования I или II класса обеспечит решение задачи контроля и повышения достоверности данных о точности ГВО. Непрерывность измерений на постоянно действующих пунктах ФАГС и повторные измерения на пунктах ВГС (через 5–10 лет) позволят судить о достоверности и однозначности нивелирных данных с учетом вертикальных движений земной поверхности.

Таким образом, наряду с развитием повторного геометрического нивелирования (в первую очередь, нивелирования I класса) и внедрением цифровых нивелиров необходимо использовать данные постоянно

Модернизация главной высотной основы РФ

Главная высотная основа РФ модернизируется в соответствии с ведомственными программами, которые определяют перечень линий нивелирования ГВО, на которых выполняются повторные измерения или измерения по новым линиям. Последние работы по модернизации и развитию ГВО проводились по Программе модернизации ГВО на период 1991–2000 гг. («Программа 1991») и по Программе модернизации ГВО на период 2001–2010 гг. («Программа 2010»). Из запланированных «Программой 1991» объемов нивелирования было выполнено: 45% объемов работ по нивелированию I класса и 22% по нивелированию II класса. Из запланированных «Программой 2010» объемов нивелирования выполнено 17,3% нивелирования I класса и 4,8% нивелирования II класса. В настоящее время работы по модернизации и развитию ГВО осуществляются в рамках двух мероприятий Росреестра — «Оптимизация Главной высотной основы (ГВО) в пограничных областях России с целью формирования полигонов I класса» и «Модернизация Главной высотной основы (ГВО) России с целью обновления высот по линиям нивелирования ГВО, измеренных в 60-х и 70-х годах прошлого столетия».

действующих пунктов ФАГС и повторных измерений на пунктах ВГС в целях контроля и повышения точности ГВО.

Другим важным направлением развития системы высотного обеспечения является разработка новых принципов отсчета нормальных высот.

При существующих принципах установления системы отсчета высот относительно среднего многолетнего уровня моря в одном исходном пункте создается ряд противоречий, которые не могут быть разрешены традиционными методами геодезических измерений. Однако эти противоречия не могут игнорироваться при существующей точности спутниковых методов и при решении фундаментальных задач геодезии. Эти противоречия связаны с тем, что средние многолетние уровни морей на разных уровнях постах могут отличаться на 1 м и более. На рис. 2 представлен график средних многолетних уровней морей, омывающих территорию Российской Федерации [2].

Для решения большинства задач традиционной геодезии эта неопределенность не вызвала особых проблем, поскольку точность высот порядка 1 м удовлетворяла требованиям к точности редуциции базисных измерений на поверхность эллипсоида.

В настоящее время высокоточные средства спутниковых измерений геодезической высоты по результатам их совместной обработки с гравиметрическими и нивелирными данными обеспечивают возможность создания новых принципов отсчета нормальных высот.

Высоты квазигеоида, определяемые по гравиметрическим данным, теоретически строго определяются относительно общего земного эллипсоида, центр которого совмещен с

центром масс Земли. Размер большой полуоси общего земного эллипсоида в этом случае регламентируется условием равенства нулю интеграла по всей поверхности Земли от гравиметрических высот квазигеоида.

$$\int_{\sigma} \zeta d\sigma = 0$$

Именно это свойство гравиметрических высот квазигеоида обеспечивает их эффективное использование при решении проблемы установления единой общемировой системы нормальных высот и, как следствие, возможность контроля геоцентричности систем координат.

Основная идея новых принципов установления единой общемировой системы нормальных высот состоит в том, что единую систему отсчета высот определяет поверхность общего земного эллипсоида и принимаемый за нормальный потенциал U_0 на поверхности этого эллипсоида. Понятие геоида формулируется как эквипотенциальная поверхность с потенциалом W_0 , равным нормальному U_0 на поверхности общеземного эллипсоида. В этом случае не постулируется равенство нулю нормальной высоты на уровнях постах, принятых в качестве исходных. При таком подходе исходные нивелирные пункты вообще отсут-

ствуют, как отсутствует исходный пункт в общемировой геоцентрической системе координат. Систему нормальных высот определяет вся совокупность геодезических пунктов, в каждом из которых с высокой точностью определена геодезическая (эллипсоидальная) высота H^e по спутниковым данным, нормальная высота H^g по результатам нивелирования и высота квазигеоида ζ по гравиметрическим данным. На территории России такой совокупностью пунктов могут служить пункты ФАГС, ВГС и СГС-1. Для всей поверхности Земли — сеть пунктов постоянных наблюдений ГНСС для целей геодинамики (IGS) [3].

Применение спутниковых данных в системе высотного обеспечения во всех перечисленных выше направлениях требует построения детальных моделей гравиметрических высот квазигеоида по уровню точности, сопоставимых с нивелирными и спутниковыми данными.

К направлениям первоочередных работ по уточнению гравиметрических высот квазигеоида в соответствии с современными требованиями относятся:

— создание детальных цифровых гравиметрических карт аномалий Буге на территорию Российской Федерации;

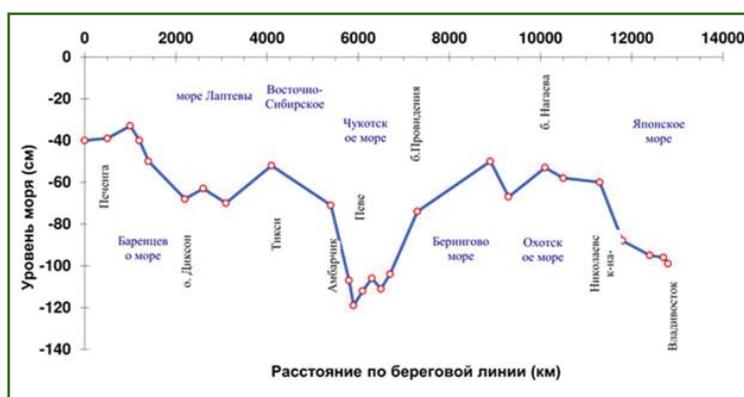


Рис. 2
Средние многолетние уровни морей Северного Ледовитого и Тихого океанов в Балтийской системе высот 1977 года

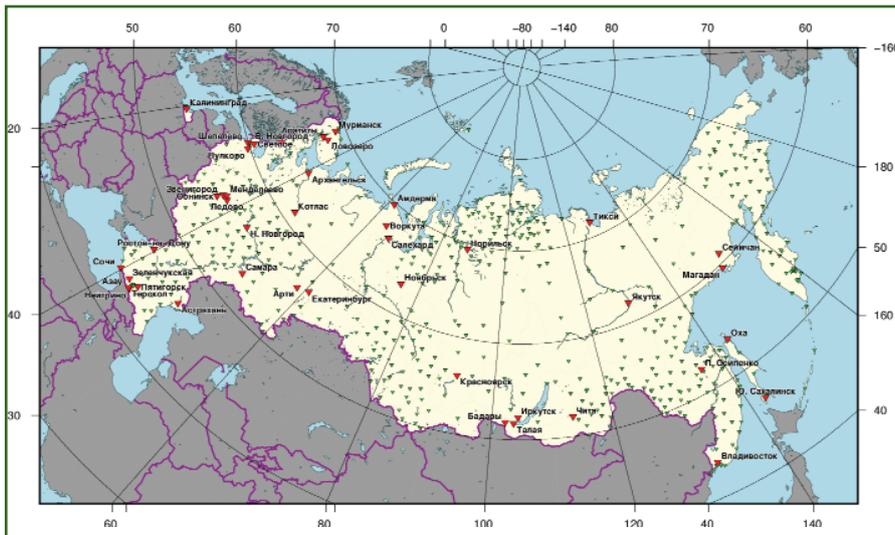
**Рис. 3**

Схема государственной фундаментальной гравиметрической сети и гравиметрической сети 1-го класса

— построение высокоточной модели рельефа по топографическим картам и информации, полученной на основе космических снимков, в целях учета редукции Буге при определении аномалий силы тяжести в редукции Фая (аномалия в свободном воздухе плюс топографическая поправка);

— разработка технологий построения планетарных моделей гравитационного поля Земли высокого уровня детальности и точности.

Таким образом, проблема изучения гравитационного поля Земли, являясь самостоятельным направлением научной и производственной деятельности, одновременно входит в систему общего геодезического обеспечения [4].

▼ Развитие государственной системы гравиметрических измерений

Традиционно вопросы изучения гравитационного поля Земли занимали одно из центральных мест в общем составе научной и производственной деятельности геодезической службы России.

Созданная в СССР научная гравиметрическая школа до недавнего времени была одной из

ведущих в мире. Разработанная российским ученым М.С. Молоденским теория изучения внешнего гравитационного поля Земли получила признание во всем мире.

Существуют опасения, что в результате происходящих процессов реформирования геодезической службы РФ вопросам развития геодезической науки, в том числе вопросам изучения гравитационного поля Земли, не будет уделено должное внимание. Геодезия из общего состава наук о Земле, таких как геофизика, геология, география и др., единственная не представлена в РАН. Развитие фундаментальных научных направлений геодезической науки вошло в сферу деятельности геодезической службы со дня ее образования.

Помимо разработок фундаментальных научных направлений теории высокоточного определения трансформант геопотенциала, в первую очередь высот квазигеоида, основными направлениями гравиметрических работ являются:

— построение глобальных гравитационных моделей по совокупности наземных и спутниковых данных;

— создание детальных цифровых моделей квазигеоида;

— построение государственных гравиметрических сетей.

Основой системы гравиметрического обеспечения являются государственная фундаментальная гравиметрическая сеть и гравиметрическая сеть 1-го класса (рис. 3).

Требования к точности определения высот квазигеоида в соответствии с вышеперечисленными направлениями развития системы геодезического обеспечения обуславливают необходимость наличия детальных гравиметрических карт на территорию РФ. Для решения этой задачи в ЦНИИГАиК совместно с Институтом радиоэлектроники Сибирского отделения РАН разработан высокоточный полевой лазерный баллистический гравиметр «ГАБЛ-П». Он предназначен для работ в сложных полевых условиях, средняя квадратическая погрешность измерений составляет 3–5 мкГал. На точность вычисления высот квазигеоида оказывают влияние систематические ошибки гравиметрических съемок. Так, например, наличие систематических ошибок в гравиметрических картах порядка 0,1 мГал вызывают средние квадратические погрешности определения высоты квазигеоида от 10 до 30 см.

Такие же высокие требования предъявляются к точности нормальных высот цифровых моделей рельефа. Систематические ошибки нормальных высот порядка 30 см вызывают погрешности определения высоты квазигеоида того же порядка, т. е. 10 см. И как следствие таких высоких требований к точности нормальных высот в единой системе в перспективе необходим переход к общеземной системе отсчета высот [3]. На начальных этапах этого процесса вовсе не обяза-

тельна замена существующей государственной системы нормальных высот. При решении задач определения точного квазигеоида достаточно знать значения поправок за переход от государственных (национальных) систем нормальных высот к единой общеземной системе.

Это еще раз подтверждает необходимость согласованного гармоничного развития всех составляющих системы геодезического обеспечения.

▼ Глобальные геодезические исследования

В равной степени в современных условиях изменились также средства, методы и назначение геодезических исследований. Если раньше геодезические исследования в целях изучения деформаций земной поверхности, как правило, выполнялись на локальных территориях достаточно малых размеров и главным своим назначением имели получение информации для возможного прогнозирования катастрофических явлений природного и техногенного характера, то в настоящее время при изучении геодезических процессов в дополнение к задачам локального и регионального характера возникает необходимость изучения глобальных геодезических процессов. Получение такой информации обеспечивают постоянно действующие пункты ФАГС, повторные высокоточные измерения абсолютных значений ускорения силы тяжести лазерными баллистическими гравиметрами, а также повторные ГНСС измерения на пунктах ВГС.

Требования к точности определения координат, нормальных высот и значений силы тяжести обуславливают необходимость учета временного фактора, т. е. учета их изменений

во времени, связанных с влиянием глобальных и региональных геодезических процессов.

Геодезия является неотъемлемой составной частью геодезии как общего процесса изучения изменений во времени характеристик физической поверхности и гравитационного поля Земли.

Одновременно изучение этих процессов по данным геодезических измерений является важным фактором в развитии фундаментальных направлений всего спектра наук о Земле, таких как геофизика, геология и др.

▼ Направления дальнейшего развития геодезического обеспечения РФ

Развитие технологий и средств геодезических измерений привело к необходимости изменений в принципах построения всей системы геодезического обеспечения. Эти принципиальные изменения происходят не только в структуре построения геодезических сетей (спутниковых, нивелирных и гравиметрических), но и в характере взаимосвязей составляющих системы геодезического обеспечения: координатной, высотной и гравиметрической. Это связано с повышением точности системы координат ГСК–2011 практически на порядок по сравнению с СК–95 (на два порядка по сравнению с СК–42) и изменением принципов ориентации осей координат в теле Земли относительно центра масс и оси вращения.

Внедрение в практику научной и хозяйственной деятельности системы геодезического обеспечения и ее дальнейшее развитие обуславливают необходимость решения целого комплекса научно-технических задач, включая совершенствование вопросов законодательного и правового характера.

Решение вопросов дальнейшего развития системы координат ГСК–2011 связано с совершенствованием сети ФАГС как основы ГСК–2011. Это совершенствование, по нашему мнению, должно идти в двух направлениях — создание на 3–4 пунктах ФАГС комплекса астрономо-геодезических средств измерений и дальнейшее расширение сети постоянно действующих пунктов ФАГС. Комплекс средств измерений должен включать, как минимум, лазерные спутниковые дальнометры, а в перспективе — малые транспортируемые антенны РСДБ. Такая комплектация, помимо уточнения самих измерений за счет более достоверного учета влияния атмосферы, даст дополнительную информацию о точности ориентировки осей координат.

Проектирование новых постоянно действующих пунктов ФАГС должно вестись с учетом геотектонической структуры территории РФ и возможностями передачи наблюдений в единый центр обработки в режиме реального времени. Эти требования к размещению новых пунктов ФАГС позволят, во-первых, обеспечить дифференцированный подход к определению скорости изменения координат во времени для разных геотектонических структур, а во-вторых, создать более благоприятные условия для развития систем функциональных дополнений (RTK, VRS, PPP и др.) [5].

Касаясь совершенствования законодательных и правовых вопросов, то это, в первую очередь, вопросы повышения ответственности за разрушение геодезических центров и реституции. Вопросы сохранности геодезических центров связаны с причинами не только результатов хозяйственной деятельности, но и природного характера: влияние изменений расп-

ространения вечной мерзлоты, процессов эрозии почв, которые в последние годы резко возросли, особенно в северных регионах, и других природных явлений [6]. Для уменьшения влияния причин погодно-климатического характера на сохранность геодезических пунктов, по нашему мнению, следует принимать меры в двух направлениях.

Во-первых, совершенствовать конструкции нивелирных центров с использованием, где это возможно, буровых технологий и значительно увеличить в процентном отношении число фундаментальных и вековых реперов (последние в обязательном порядке для узловых пунктов линий нивелирования).

Второй путь связан с комплексированием узловых пунктов полигонов нивелирования I и II классов с пунктами ФАГС и ВГС.

Повышение требований к точности определения высот квазигеоида обуславливает не-

обходимость не только повышения детальности и точности гравиметрических данных и данных о рельефе, но и дальнейшего развития теории определения геопотенциала и ее практической реализации в системе геодезического обеспечения.

▼ Список литературы

1. Бурша М., Демьянов Г.В., Юркина М.И. Об определении модели Земли — общего земного эллипсоида // Геодезия и картография. — 1997. — № 4. — С. 9–13.
2. Medvedev P.P., Demianov G.V., Kaftan V.I., Kuznetsov Y.G. Application of altimetry data to the researches of sea level of the marginal seas of Russia, Geophysics and the Environment, XXI General Assembly, Boulder, Colorado, July 2–14 1995, Abstracts Week B, B 56.
3. Демьянов Г.В., Майоров А.Н., Юркина М.И. Построение общеземной системы нормальных высот // Геодезия и картография. — 2009. — № 1. — С. 12–16.
4. Демьянов Г.В., Сермягин Р.А. Планетарные модели гравитационного поля Земли, их роль в современных условиях развития геодезии // Геодезия и картография. — 2009. — № 10. — С. 8–12.

5. Горобец В.П., Демьянов Г.В., Майоров А.Н., Побединский Г.Г. Результаты построения государственной геоцентрической системы координат Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «ГЛОНАСС» // Геодезия и картография. — 2012. — № 2. — С. 53–57.

6. Абросимов А.В., Сизов О.С. Геопространственное дистанционное обеспечение предотвращения рисков, связанных с термоэрозией в условиях Крайнего Севера // Геопрофи. — 2013. — № 6. — С. 10–14.

RESUME

Continuing the theme of the geodetic support development in the Russian Federation, the authors examine the new principles of the normal heights system, which is defined by not a single point, but a set of geodetic points. On these points geodetic (ellipsoidal) height is determined with high accuracy based on the results of satellite measurements, the normal height calculation is based on the data of the precision geometric leveling and the quasigeoid height is derived from the gravimetric measurements.

geometer-center.ru
(495)955-28-51

Комплексные инженерные изыскания
Поставка оборудования и ПО
Обучение, консультации, поддержка

ГЕОМЕТР  **Центр**