

УДК 528.34:629.783

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ВЫСОТ НА ТЕРРИТОРИИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГЕОИДА EGM2008**

*Владимир Иванович Обиденко*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, проректор по учебной работе, тел. (383)343-39-88, e-mail: ovi62@yandex.ru

*Ольга Анатольевна Оприцова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, руководитель Сибирского учебного научно-производственного картографического центра, тел. (383)344-41-42, e-mail: ooolg@yandex.ru

*Александр Петрович Решетов*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, руководитель отдела информационно-технического обеспечения, тел. (383)361-01-49, e-mail: trewizor@mail.ru

Приводятся результаты исследований по разработке методики получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной модели геоида EGM2008 и программного обеспечения для обработки ГНСС-измерений. Определен систематический сдвиг между нормальными высотами, вычисленными по глобальной модели геоида EGM2008, и высотами, определенными из ГНСС-измерений и геометрического нивелирования на территорию Новосибирской области. Предложена методика локализации глобальной модели геоида EGM2008 для территории Новосибирской области, практически сформирована такая модель геоида в виде файла EGM2008\_NSO.GEM, в стандартном режиме загружаемого в ПО Leica Geo Office. Проведены тестовые испытания разработанной методики и локализованной модели геоида EGM2008\_NSO.GEM, показывающие возможность ее применения для получения на территории Новосибирской области нормальных высот из ГНСС-измерений с точностью нивелирования IV класса. Указаны пути дальнейшего продолжения исследований и совершенствования разработанной методики. Главным резервом повышения точности получения нормальных высот из ГНСС-измерений в соответствии с предложенной методикой определена точность, однородность и детальность данных (спутниковых наблюдений и геометрического нивелирования) на контрольных пунктах, расположенных на территории Новосибирской области.

**Ключевые слова:** глобальная модель геоида EGM2008, вычисление нормальных высот из ГНСС-измерений, локальная модель геоида для территории Новосибирской области.

## **WORKING OUT OF A TECHNIQUE OF RECEPTION OF NORMAL HEIGHTS IN TERRITORY OF THE NOVOSIBIRSK REGION WITH USE OF EARTH GRAVITATIONAL MODEL EGM2008**

*Vladimir I. Obidenko*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Vice-Rector for Educational Activities, tel. (383)343-39-88, e-mail: ovi62@yandex.ru

**Olga A. Opritova**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Head of Siberian Training Research and Production Cartographical Center, tel. (383)344-41-42, e-mail: ooolg@yandex.ru

**Aleksandr P. Reshetov**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Head of Department Information and Technical Support, tel. (383)361-01-49, e-mail: trewizor@mail.ru

Results of researches on working out of a technique of reception of normal heights in territory of the Novosibirsk region with use of global Earth Gravitational Model EGM2008 and the software for processing of GNSS-measurements are resulted. Regular shift between the normal heights calculated on global model EGM2008 and the heights defined from GNSS-measurements and geometrical levelling on territory of the Novosibirsk region is defined. The technique of localisation of global model EGM2008 for territory of the Novosibirsk region is offered, such model of geoids in the form of file EGM2008\_NSO.GEM, in a standard mode loaded in Leica Geo Office software is almost generated. Test tests of the developed technique and the localised model of geoids EGM2008\_NSO.GEM, its applications showing possibility for reception in territory of the Novosibirsk region of normal heights from GNSS-measurements with accuracy of levelling of IV class are conducted. Ways of the further continuation of researches and perfection of the developed technique are specified. The main reserve of increase of accuracy of reception of normal heights from GNSS-measurements according to the offered technique defines accuracy, detail and uniformity given (satellite measurements and geometrical levelling) on the control points located in territory of the Novosibirsk region.

**Key words:** Global Earth Gravitational Model EGM2008, definition of normal heights from GNSS-measurements, local model of geoids for territory of the Novosibirsk region.

Одним из факторов, не позволяющих в полной мере реализовать в геодезической практике потенциал современных систем спутникового позиционирования ГЛОНАСС/GPS, является невозможность непосредственно из ГНСС-измерений получать нормальные высоты координируемых объектов. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на разработку научных подходов и методов решения задачи определения нормальных высот из относительных спутниковых измерений. Результаты таких исследований и предлагаемые подходы изложены в работах [1–12]. Введение в действие в Российской Федерации новой системы координат ГСК-2011 сопряжено с реализацией серии мероприятий, направленных на обеспечение возможности определения нормальных высот из спутниковых определений [13–15].

Наиболее перспективными в этом плане представляются методы, основанные на использовании глобальных моделей геоида. В настоящее время одной из наиболее точных и общедоступных является глобальная модель геоида EGM2008, данные о которой опубликованы на сайте национального агентства геопространственных исследований (NGA) США [16]. Точность новой глобальной модели геоида EGM2008, построенной, по информации разработчиков, с использованием наземных, воздушных гравиметрических данных, результа-

тов альтиметрии и содержащей набор гармонических коэффициентов геопотенциала до 2160-й степени, в части вычисления высот геоида над общеземным эллипсоидом WGS84 на данной территории зависит от детальности и точности использованных для ее построения данных [17]. Так, для территорий, обеспеченных детальными и качественными гравиметрическими данными, точность вычисления высот геоида, оцененная по сравнению с высотами геоида, полученными на контрольных точках из спутниковых координатных определений и геометрического нивелирования, составляет, по данным разработчиков, от 7,1 см (континентальная часть территории США, 4 200 контрольных точек) до 23 см в целом по территории земного шара (12 300 контрольных точек) [18]. Для территории Беларуси точность геоида EGM2008 оценивается на уровне 5 см [19], что делает возможным его использование в практических геодезических работах при выполнении спутникового нивелирования.

Исследования, проведенные на территории Новосибирской области, показали, что применение глобальной модели геоида EGM2008 после исключения систематического сдвига по высоте принципиально позволяет получать нормальные высоты с точностью геометрического нивелирования III-IV класса [20]. Целью настоящей работы являлась разработка и исследование методики практического получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной модели геоида EGM2008 и программного обеспечения обработки ГНСС-измерений.

В качестве практического материала для исследований были использованы каталоги координат и высот пунктов государственной геодезической сети (ГГС) 1-3-го классов в системе координат ITRF2005 на эпоху 15.06.2010 г., полученные в результате обработки и уравнивания материалов спутниковых координатных определений по привязке сети, состоящей из 31 дифференциальной активной базовой станции (АБС), развитой на территории Новосибирской области [21–23], к государственной системе координат (ГСК), а также нормальные высоты этих пунктов, полученные методом геометрического нивелирования (I-IV класс).

Построение сети АБС в Новосибирской области осуществлялось в два этапа: установка первых 19 станций и их привязка к ГСК завершена в 2010 г., установка и связь с ГСК 12 оставшихся АБС была завершена в 2013 г. Исследования по оценке точности получения нормальных высот с использованием глобальной модели геоида EGM2008 на территории Новосибирской области [20] проведены на основании материалов, полученных по итогам завершения первого этапа построения сети АБС (около 200 пунктов, покрывающих восточную и центральную часть области). В настоящих исследованиях использованы результаты обеих ГНСС-кампаний по привязке всех 31 АБС к государственной системе координат, заключавшихся в относительных спутниковых определениях на 326 пунктах ГГС, относительно равномерно расположенных на территории Новосибирской области и покрывающих 75 % ее территории (рис. 1). Такой значительный массив ГНСС-наблюдений на большую часть территории Новосибирской области (не покрыты данными только северные, экономически

малоосвоенные районы области) позволил авторам предложить и протестировать методику получения нормальных высот региона, основанную на использовании глобальной модели геоида EGM2008 и программного обеспечения для обработки ГНСС-измерений (в методике использовано ПО Leica Geo Office).

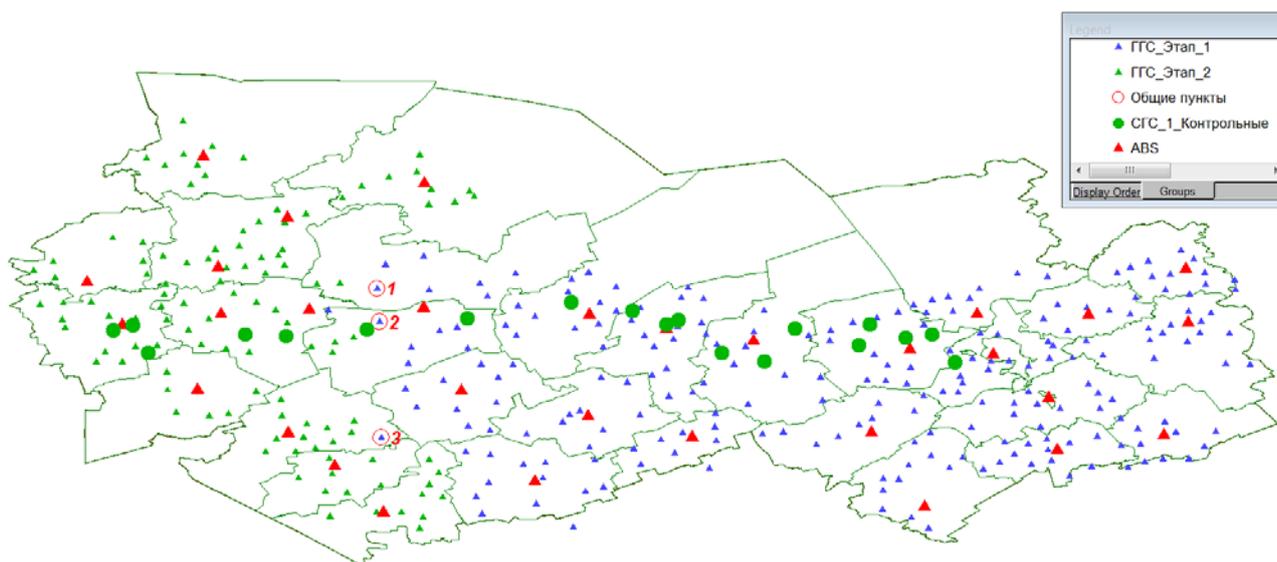


Рис. 1. Расположение контрольных пунктов на территории Новосибирской области

На начальном этапе исследований было проверено качество контрольных данных. Совместное уравнивание данных ГНСС-измерений на пунктах ГГС по результатам обеих ГНСС-кампаний не выполнялось. Поэтому взаимная точность координат пунктов ГГС в СК ITRF2005 на эпоху 15.06.2010 г., относящихся к разным этапам проекта, была оценена по итогам уравнивания каждого блока сети отдельно. Максимальные средние квадратические ошибки (СКО) геодезических высот из уравнивания спутниковой сети 1-го этапа составили величину 3,1 см [20], второго – 6,9 см, что предполагает СКО взаимного расположения пунктов, относящихся к разным этапам на уровне 7,6 см. Однако фактически максимальные расхождения координат общих пунктов ГГС, относящихся к двум блокам спутниковой геодезической сети (см. рис. 1), составили величины до 2 см в плане и до 13 см по высоте (табл. 1), что превышает априорную СКО взаимного расположения пунктов. С целью лучшего согласования координат пунктов ГГС, относящихся к разным блокам сети, на основании координат 19 пунктов АБС, имеющих координаты как по итогам 1-го этапа уравнивания, так и по итогам совместного уравнивания всех 31 АБС, вычислены 7 параметров Гельмерта взаимного трансформирования координат из «эпохи» второго уравнивания сети в «эпоху» первого уравнивания. С применением этих параметров координаты пунктов ГГС 2-го этапа в СК ITRF2005 приведены к единой эпохе этапа 1, что для общих пунктов обоих этапов привело к уменьшению расхождения по геодезической высоте на величину 4 см (см. табл. 1).

Таблица 1

Расхождение координат общих пунктов двух ГНСС-кампаний

№ п/п	Расхождение координат в СК ITRF2005 общих пунктов двух ГНСС-кампаний (м)					
	до согласования			после согласования		
	$dB$	$dL$	$dH$	$dB$	$dL$	$dH$
1	0,00	0,00	-0,08	0,00	-0,02	-0,04
2	0,02	0,02	-0,13	0,02	0,00	-0,09
3	0,01	0,01	-0,11	0,01	-0,02	-0,08

Для исследований модели геоида с сайта [16] были скачаны необходимые данные и программное обеспечение для извлечения фрагмента (вырезки) из предварительно рассчитанной для эллипсоида WGS-84 глобальной модели геоида EGM2008 с шагом 1' на территорию, с запасом покрывающую Новосибирскую область (52–58° с. ш. / 74–86° в. д.), которая была введена в ПО Leica Geo Office (LGO). Общий вид положения геоида относительно общеземного эллипсоида WGS84 на территории Новосибирской области, полученный по глобальной модели EGM2008, показан на рис. 2.

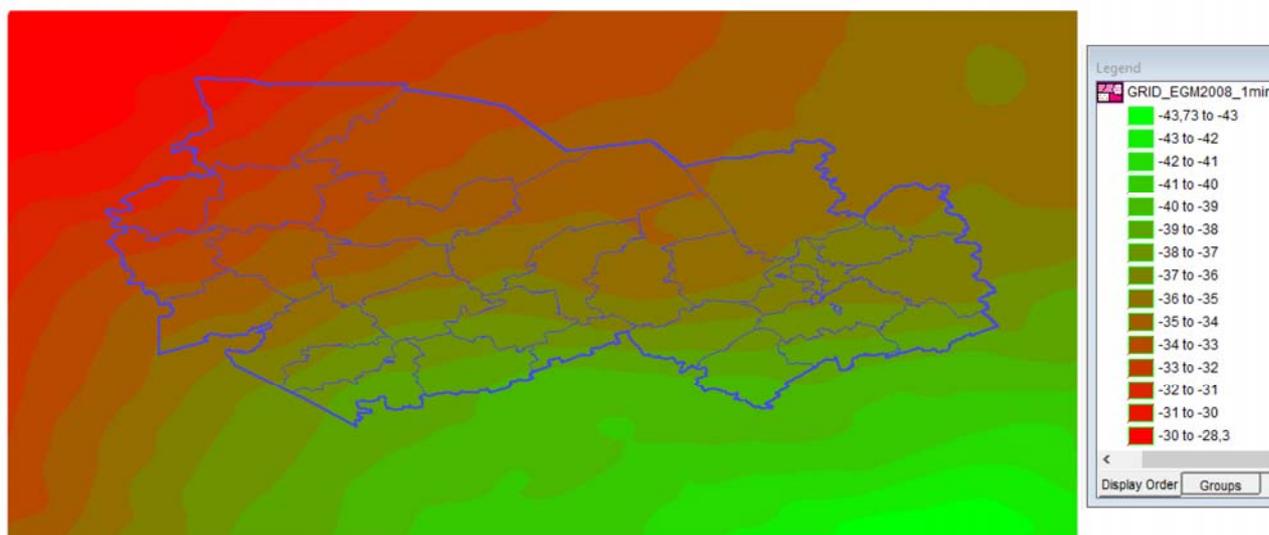


Рис. 2. Положение геоида на территории Новосибирской области по модели EGM2008

С использованием данной модели геоида EGM2008 в ПО LGO на всех участвующих в проекте пунктах ГГС были вычислены высоты геоида  $\zeta_{2008}$  над эллипсоидом WGS84. Измеренное значение высот геоида  $\zeta$  над эллипсоидом WGS84 для этих же пунктов ГГС было определено как разность их геодезических (эллипсоидальных) высот, полученных из ГНСС-измерений, и нормаль-

ных высот из геометрического нивелирования. По разности  $\Delta$  высот  $\zeta_{2008}$  и  $\zeta$  на каждом пункте ГГС определен систематический сдвиг по высоте между вычисленным по модели EGM2008 геоидом и задаваемым нормальными высотами квазигеоидом  $\Delta_{\text{ср}}$  (как среднее значение из всех  $\Delta$ ). В целом по области, вычисленный на основании значений на 313 пунктах ГГС, систематический сдвиг по высоте  $\Delta_{\text{ср}}$  для величин  $\zeta_{2008}$  составил значение 0,430 м (что на большей статистической выборке подтвердило значение, полученное в исследовании [20]), среднеквадратическая ошибка полученной величины сдвига  $\pm 0,074$  м.

Следует отметить, что исследования по определению разности между аномалиями высот геоида по модели EGM2008 и аналогичными величинами, полученными из ГНСС-измерений и нивелирования, предоставляют собой прекрасный инструмент для поиска грубых ошибок в исходных данных. Так, из 326 первоначально включенных в проект пунктов ГГС 13 было исключено по причине обнаружения грубых ошибок по высоте, составивших величины от 0,5 до 3 м. Наряду с указанными в [20] причинами, связанными с выполнением ГНСС-измерений, данные грубые ошибки могут быть также следствием ошибок ранее выполненных нивелирных работ (особенно нивелирования IV класса), уничтожения или перезакладки отдельных монолитов в центрах геодезических пунктов, не нашедших отражения в сводных каталогах нивелирования, и т. д. Безусловно, данная информация является ценной для Росреестра, органов государственного геодезического надзора, организующих работы по обеспечению сохранности пунктов государственной геодезической сети и осуществляющих контроль за качеством геодезических работ.

На следующем этапе, в соответствии с предлагаемой методикой вычисления нормальных высот с использованием глобальной модели геоида, по контрольным точкам (пунктам ГГС) с использованием ПО ГИС «Карта-2011» выполнена интерполяция и построена матрица разностей высот (сдвига) геоида  $\Delta = (\zeta - \zeta_{2008})$  и матрица высот геоида  $\zeta$ , определенных по разности геодезических (из ГНСС-измерений) и нормальных (из нивелирования) высот. Использование программного обеспечения геоинформационных систем для построения матриц исключает необходимость разработки собственных алгоритмов и компьютерных программ для этих целей, применение же именно ПО ГИС «Карта-2011» для решения данной задачи обусловлено тем, что качество инструментария этого ПО для интерполирования и построения матриц авторами было проверено ранее и успешно применено для решения аналогичных задач [24, 25].

Построенная в ПО ГИС «Карта-2011» матрица разностей высот геоида, определенных по модели EGM2008, и высот геоида, полученных из спутниковых координатных определений и геометрического нивелирования, показана на рис. 3 и дает представление о локальных флуктуациях (волнах) геоида, а также, что может быть выяснено только в процессе дальнейших более углубленных исследований на более точном и более детальном материале, – о возможных погрешностях полученных разностей  $\Delta$ , находящихся в пределах точности использованных данных.

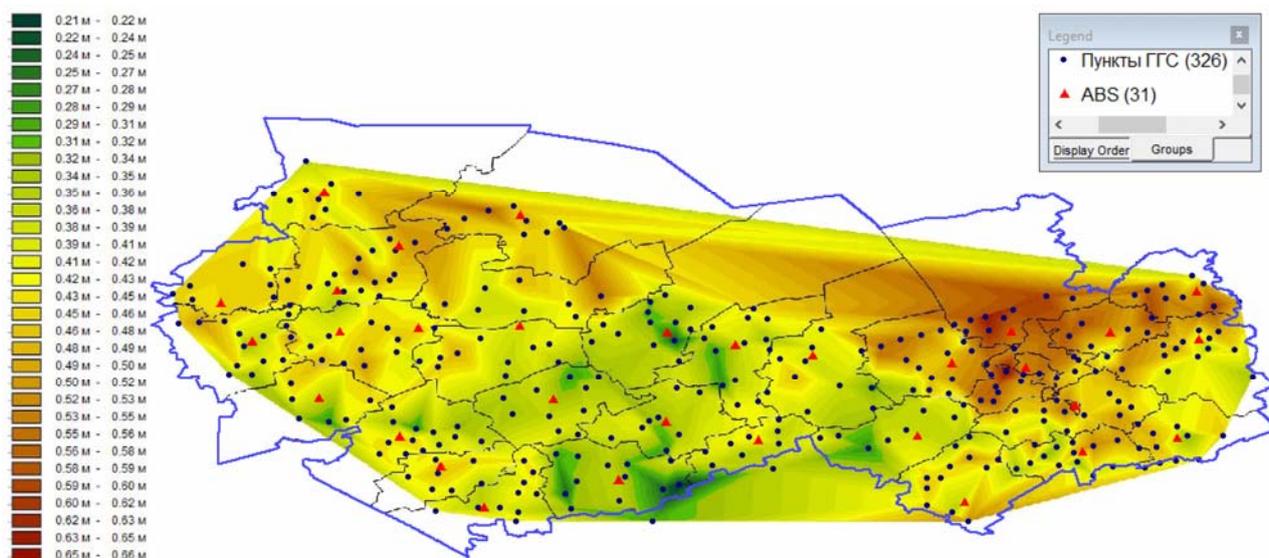


Рис. 3. Матрица разностей высот геоида  $\Delta$ , определенных по модели EGM2008 и полученных из ГНСС-измерений и геометрического нивелирования

Матрица высот геоида  $\zeta$ , построенная по разности геодезических и нормальных высот в контрольных точках (на пунктах ГГС), использована в дальнейшем для того, чтобы скорректировать модель глобального геоида EGM2008 путем замены в ней на территории Новосибирской области (в зоне, покрытой контрольными точками и данной матрицей) вычисленных по модели высот геоида  $\zeta_{2008}$  на их уточненные значения  $\zeta$ . Для этого в проект ПО ГИС «Карта-2011», созданный в системе координат широта/долгота относительно эллипсоида WGS-84, где построена матрица величин  $\zeta$ , загружен (геокодирован) массив данных EGM2008 и в точках, попадающих на покрытую матрицей территорию, значение  $\zeta_{2008}$  заменено на  $\zeta$ , считанное с матрицы. После этого, на основании файла модели геоида EGM2008, с уточненными вышеуказанным образом на территории области значениями высот геоида, сформирована версия геоида EGM2008, локализованная для территории Новосибирской области, которая в виде файла с названием EGM2008\_NSO.GEM стандартным образом загружена в ПО LGO. Используя в среде ПО LGO данный файл геоида по завершении процесса обработки вновь выполненных ГНСС-измерений в развиваемой геодезической сети и определения координат ее точек в геоцентрической системе координат, можно вычислить также и их нормальные высоты на территории Новосибирской области. При этом, для исключения систематического сдвига между системами отсчета геодезических (эллипсоидальных) высот, необходимо, чтобы развиваемое геодезическое построение было жестко связано с системой координат АБС Новосибирской области (ITRF2005, эпоха 15.06.2010 г.) или с пунктами ГГС, участвовавшими в проекте по привязке АБС к ГСК и имеющими координаты в этой же СК.

Следует отметить некоторые технологические нюансы, которые необходимо учитывать при использовании данной методики и созданной локализованной версии глобальной модели геоида EGM2008 – EGM2008\_NSO.GEM. В силу особенностей ПО LGO файл геоида в него может быть загружен только в виде сетки, имеющей прямоугольные размеры. Фактически же, из-за ограниченного количества исходных данных (контрольных точек) матрица уточненных величин  $\zeta$  для Новосибирской области построена на территорию, имеющую произвольные границы (см. рис. 3). Поэтому за пределами матрицы, где значения  $\zeta$  отсутствуют, вместо них могут использоваться значения, рассчитанные по модели EGM2008 –  $\zeta_{2008}$ , либо значения  $\zeta$  в узлах сетки за пределами территории матрицы можно обнулять или удалять. Но, в любом случае, уверенно вычислять нормальные высоты по модели геоида EGM2008\_NSO.GEM можно только на некотором удалении от границы матрицы и на той ее территории, которая покрыта контрольными пунктами (см. рис. 3).

Тестирование разработанной методики осуществлялось путем вычисления в ПО LGO с использованием созданной вышеуказанным образом модели геоида EGM2008\_NSO.GEM нормальных высот двух геодезических построений: 19 пунктов СГС-1 и 31 АБС.

Для проведения тестирования пространственные прямоугольные координаты XYZ пунктов СГС-1 в СК-95 относительно эллипсоида Красовского на основании 8 совмещенных пунктов были по 7-параметрическому преобразованию Гельмерта предварительно трансформированы в систему координат проекта – ITRF2005 (эпоха 15.06.2010 г.), при этом остаточные погрешности этого преобразования не превысили 3 см, что говорит о высокой однородности обоих геодезических построений. Результаты сравнения нормальных высот пунктов СГС-1, полученных в ПО LGO по модели EGM2008\_NSO.GEM и из геометрического нивелирования, приведены в табл. 2, расположение контрольных пунктов СГС-1 показано на рис. 1. СКО получения нормальных высот этих 19 пунктов СГС-1 по предложенной методике составила  $\pm 3,1$  см, максимальная разность – 6,8 см.

Таблица 2

Разность нормальных высот, вычисленных по модели EGM2008\_NSO.GEM и определенных из геометрического нивелирования на контрольных пунктах СГС-1

№ пункта	$dh$ (м)						
1	0,036	6	-0,009	11	0,001	16	0,016
2	-0,068	7	0,018	12	-0,003	17	0,043
3	-0,025	8	-0,016	13	-0,031	18	0,004
4	-0,035	9	0,022	14	-0,010	19	0,065
5	-0,022	10	0,039	15	0,006		

Проверка разработанной модели геоида по АБС с точки зрения строгости подхода не является корректной, так как нормальные высоты АБС получены не из геометрического нивелирования, а из трансформирования (калибровки) их координат из ITRF2005 в СК-95 и Балтийскую систему высот, точность получения нормальных высот таким методом ниже, чем методом геометрического нивелирования. При таком подходе из набора контрольных пунктов (пункты ГГС) в процессе калибровки отбрасываются некоторые пункты, точность координат или высот которых не соответствует заданным параметрам. Матрица же геоида EGM2008\_NSO.GEM строится по всем контрольным пунктам ГГС (за исключением грубых измерений). Тем не менее, в связи с отсутствием на момент разработки методики достаточного количества данных для независимого ее тестирования, проверка построенной модели геоида проведена и по АБС, результаты ее приведены в табл. 3. Максимальные расхождения нормальных высот, полученных по методике, и вычисленных ранее ( $>10$  см), относятся к АБС, находящимся на границе построенной матрицы (3 из 4), где, как указано выше, величины  $\zeta$  по матрице вычисляются неточно. Расхождение на АБС KARA в 16 см объясняется тем, что остаточная погрешность вычисления его высоты методом трансформирования составила  $\pm 10,0$  см, оставшиеся 6 см, по всей видимости, являются следствием ошибок модели, вызванных погрешностями исходных данных в районе данного пункта. Тем не менее, даже без исключения этих экстремальных величин, СКО получения нормальных высот 31 АБС по методике по сравнению с нормальными высотами, полученными методом трансформирования (калибровки), составила  $\pm 7,0$  см.

Таблица 3

Разность нормальных высот, вычисленных по модели EGM2008\_NSO.GEM и определенных методом трансформирования (калибровки) на АБС НСО

Название пункта	$dh$ (м)						
KRAS	0,17	BOLO	0,03	SEVE	0,00	VENG	-0,03
SUZU	0,15	KOCH	0,03	SHIP	0,00	BARA	-0,03
DOVO	0,13	CHIS	0,01	ZDVI	-0,01	MHKV	-0,03
PIHT	0,08	Yst_	0,01	BAGA	-0,01	ORDN	-0,03
KARG	0,05	CHER	0,00	CHAN	-0,02	MASL	-0,05
KOCK	0,05	CHUL	0,00	KOLV	-0,02	TOGU	-0,07
KUPI	0,05	KYsh	0,00	TATA	-0,02	NSKW	-0,08
ISKT	-0,09	UBIN	-0,09	KARA	-0,16		

Выводы. Разработанная методика и построенная с ее применением на основании глобальной модели геоида EGM2008 модель геоида EGM2008\_NSO.GEM,

локализованная для территории Новосибирской области, позволяет на основании измеренных методом относительных спутниковых координатных определений геодезических высот вычислять в ПО LGO нормальные высоты с точностью, близкой к точности нивелирования IV класса. Необходимым условием при этом является использование для развиваемого методом ГНСС-измерений геодезического построения в качестве начальных пунктов, участвовавших в построении уточненной матрицы геоида на территории Новосибирской области: АБС Новосибирской области (СК ITRF2005, эпоха 15.06.2010 г.) или пунктов ГГС, участвовавших в проекте по привязке АБС к ГСК и имеющих координаты в этой же СК.

Дальнейшие направления совершенствования, использования разработанной методики и локализованной версии модели геоида EGM2008 имеют определенный ресурс в части улучшения некоторых технологических приемов (поиска оптимальных методов построения матриц, методов интерполирования, выбора оптимального размера ячейки матрицы, учета весов данных в соответствии с их априорной точностью, адаптации модели геоида к другим ПО для обработки ГНСС-измерений). Главный же резерв развития предложенной технологии связан преимущественно с повышением качества (точности и детальности) используемых исходных данных. Так, для повышения точности геодезических (эллипсоидальных) высот контрольных пунктов ГГС и АБС до уровня 1-2 см целесообразно уравнивать АБС Новосибирской области совместно со всеми пунктами ГГС, участвовавшими в обоих этапах ГНСС-кампании по привязке АБС к ГСК, с использованием научного программного обеспечения для высокоточной обработки ГНСС-измерений (класса Bernese). В дальнейшем целесообразно концентрировать имеющийся в Росреестре и на предприятиях Роскартографии измерительный материал соответствующего класса точности и надежности с целью уточнения построенной модели геоида, расширения ее зоны действия. К таким материалам, прежде всего, следует отнести все данные по построению на территории НСО сети ВГС, СГС-1; результаты ГНСС-измерений на 40-50 пунктах ГГС и реперах нивелирования, которые планируется выполнить на территории области в 2016 г. в рамках разработки Росреестром методики перехода на ведение государственного кадастра недвижимости на ГСК-2011; результаты аналогичных работ на территории соседних областей по смежеству с Новосибирской областью. За счет расширения зоны покрытия сети контрольных точек и повышения точности выполненных на них измерений задача определения нормальных высот из измерений, выполненных методом относительного спутникового позиционирования, может быть практически решена на большей части территории Новосибирской области на уровне точности нивелирования III–IV класса уже в ближайшее время.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Определения разности потенциалов силы тяжести и высот в геодезии посредством гравиметрических спутниковых измерений / В. Ф. Канушин, А. П. Карпик, Д. Н. Голдобин,

И. Г. Ганагина, Е. Г. Гиенко, Н. С. Косарев // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 53–69.

2. Непоклонов В. Б. Об использовании новых моделей гравитационного поля Земли в автоматизированных технологиях изысканий и проектирования [Электронный ресурс] // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2009. – № 2. – Режим доступа: <http://www.credodialogue.com/journal.aspx>.

3. Непоклонов В. Б. Об использовании новых моделей гравитационного поля Земли в автоматизированных технологиях изысканий и проектирования [Электронный ресурс] // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2009. – № 3. – Режим доступа: <http://www.credodialogue.com/journal.aspx> 5.

4. Каленицкий А. И., Ким Э. Л. О необходимости комплексного применения гравиметрии и геодезических методов при мониторинге природной и техногенной геодинамики на месторождениях углеводородов // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 53–69.

5. Сравнение спутниковых моделей проекта GOCE с различными наборами независимых наземных гравиметрических данных углеводородов / В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, Е. М. Мазурова, А. М. Косарева, Н. С. Косарев // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (27). – С. 21–34.

6. Баранов В. Н., Королевич В. В. Пример оценки точности модели EGM 2008 по астрономо-геодезическим данным // Науки о Земле. – 2011. – № 2. – С. 39–43.

7. Сугаипова Л. С. Сравнение современных моделей глобального гравитационного поля Земли // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 6. – С. 14–20.

8. Одномерное сферическое преобразование Фурье и его реализация для расчета глобальной модели квазигеоида в нулевом приближении теории Молоденского / Д. Н. Голдобин, Е. М. Мазурова, В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина, Н. С. Косарев, А. М. Косарева // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 45–52.

9. Сравнение спутниковых моделей проекта GOCE с различными наборами независимых наземных гравиметрических данных / В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, Е. М. Мазурова, А. М. Косарева, Н. С. Косарев // Вестник СГУГиТ. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 21–34.

10. Проблемы обеспечения точности координатно-временных определений на основе применения ГЛОНАСС технологий / А. С. Толстикова, В. А. Ащеулов, К. М. Антонович, Ю. В. Сурнин // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (18). – С. 3–11.

11. Шендрик Н. К. Результаты экспериментальных определений координат геодезического пункта по измерениям ГЛОНАСС // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 33–41.

12. Сурнин Ю. В. Регулярный подход к оцениванию орбитальных, геодезических и геодинамических параметров по результатам спутниковых измерений // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 6–14.

13. Горобец В. П., Ефимов Г. Н., Столяров И. А. Опыт Российской Федерации по установлению государственной системы координат 2011 года // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 24–37.

14. Нехин С. С. Основные проблемные вопросы перевода картографического обеспечения в систему координат ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 38–47.

15. Васильев И. В., Коробов А. В., Побединский Г. Г. Стратегические направления развития топографо-геодезического и картографического обеспечения Российской Федерации // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 5–23.

16. Сайт национального агентства геопространственных исследований США. WGS 84 Earth Gravitational Model. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://earth-nfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08\\_wgs84.html](http://earth-nfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html)

17. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008 / N. K. Pavlis, S. A. Holmes, S. C. Kenyon, J. K. Factor // EGU General Assembly 2008. Vienna, Austria, April 13–18, 2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.massentransporte.de/fileadmin/2kolloquium\\_muc/2008-10-08/Bosch/EGM2008.pdf](http://www.massentransporte.de/fileadmin/2kolloquium_muc/2008-10-08/Bosch/EGM2008.pdf)
18. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) / Nikolaos K. Pavlis, Simon A. Holmes, Steve C. Kenyon, John K. Factor // Journal of geophysical research, Solid Earth, Volume 117, Issue B4 April 2012, 1-38. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011JB008916/full>.
19. Пигин А. П., Березина С. В. Глобальная модель геоида EGM2008. Предварительный анализ // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2008. – № 3. – С. 63–66.
20. Гиенко Е. Г. Исследование точности получения нормальных высот и уклонов отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008 // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. – С. 181–186.
21. Карпик А. П. Реализация проекта наземной инфраструктуры глобальной навигационной спутниковой системы «ГЛОНАСС» на территории Новосибирской области // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 3–10.
22. Определение координат пунктов сети базовых станций Новосибирской области в общеземной системе координат / А. П. Карпик, А. А. Решетов, А. А. Струков, К. А. Карпик // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 3–8.
23. Научно-технический отчет по созданию на территории НСО наземной инфраструктуры для обеспечения эффективного использования глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС/GPS / А. П. Карпик, С. В. Середович, О. В. Твердовский, А. Н. Клепиков, А. П. Решетов. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 185 с.
24. Карпик А. П., Обиденко В. И. Формирование единого геопространства территорий для повышения качества геодезического обеспечения государственного кадастра недвижимости // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 3–11.
25. Карпик А. П., Обиденко В. И., Ламерт Д. А. Реализация «дорожной карты»: пути повышения качества пространственного описания объектов государственного кадастра недвижимости // Геодезия и картография. – 2013. – № 12. – С. 44–49.

Получено 12.01.2016

© В. И. Обиденко, О. А. Опритова, А. П. Решетов, 2016