

*Пигин А.П.; Березина С.В.
(СП «Кредо-Диалог», Минск)*

На сайте национального агентства геопространственных исследований Министерства обороны США (National Geospatial-Intelligence Agency - NGA) опубликованы результаты работы группы разработки EGM - новая гравитационная модель земли (EGM2008) степени 2160 [1]. Основные разработчики N.K. Pavlis, S.A. Holmes, S.C. Kenyon, J.K. Factor представили конечную итерацию модельного подхода, результат разработки и анализа нескольких последовательно созданных предварительных гравитационных моделей (PGM) все лучшего и лучшего представления. Из этих моделей модель PGM2007A была оценена международной рабочей группой, спонсором которой является международная ассоциация геодезии (IAG).

EGM2008 включает в себя детальные гравитационные аномалии в разрешении 5×5 минут и использует преимущества новейших спутниковых решений на базе GRACE.

EGM2008 включает в себя улучшенные, полученные из альтиметрии аномалии силы тяжести, рассчитанные при использовании PGM2007B (вариант PGM2007A) и модели динамической топографии океана (DOT).

Опубликованные материалы включают собственно модель EGM2008 в виде коэффициентов сферических гармоник и вычисленные аномалии высот геоида с разрешением $\Gamma \times \Gamma$ и $2,5' \times 2,5'$, программы интерполяции и вырезки участков и тексты программ на языке FORTRAN. Приведена дополнительная информация в виде статей и презентаций.

В модели используются следующие константы, связывающие референц-эллипсоид и нормальное гравитационное поле:

- $a = 6378137.00$ m (большая полуось эллипсоида WGS 84);
- $f = 1/298.257223563$ (сжатие эллипсоида WGS 84);
- $GM = 3.986004418 \cdot 10^{14}$ m³s⁻² (геоцентрическая гравитационная постоянная);
- $\omega = 7292115 \cdot 10^{11}$ radians/sec (угловая скорость вращения Земли).

Все программное обеспечение синтеза, коэффициенты и вычисленные сетки высот геоида принимают модель, свободную от приливов (Tide Free), - используется константа, элемент нулевой степени -41 см ко всем волнистостям геоида, рассчитанным при использовании EGM2008. Этот элемент преобразовывает волнистости геоида, которые, в сущности, ссы-

лаются на идеальный среднеземной эллипсоид. Значение -41 см выводится® из среднеземного эллипсоида, для которого оцененные параметры в системе модели, свободной от приливов: $a = 6378136.58$ m и $Vf = 298.257686$.

Естественный интерес для практических целей представляет анализ опубликованной модели. Для самой предварительной оценки использовано следующее сравнение. В [2] опубликован рисунок изолиний высот современной детальной локальной цифровой модели квазигеоида (эллипсоид ПЗ90) в районе г. Москвы в сравнении с моделью EGM96. На рисунке приведены оба фрагмента моделей и фрагмент модели EGM2008 (эллипсоид WGS-84) на эту территорию.

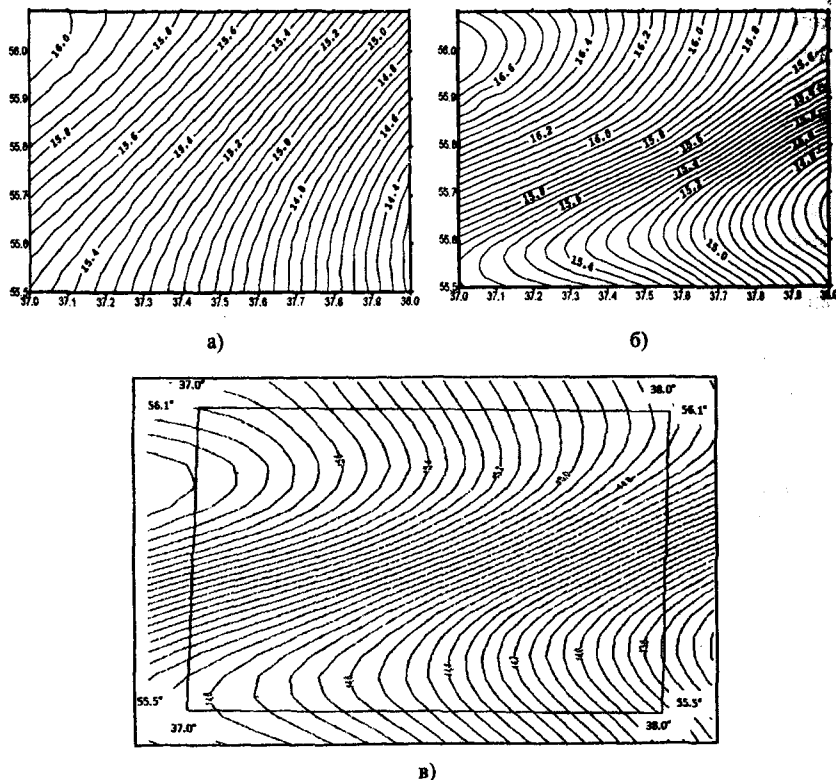


Рис. 1. Высоты квазигеоида: модель EGM96 (а); современная модель (б) в районе Московской обл. (эллипсоид ПЗ-90); модель EGM2008 (в)

Как видно из рисунка, характер волнистости модели EGM2008 и современной детальной модели геоида в районе Москвы идентичны. Это обстоятельство позволило сделать вывод о возможности и необходимости дальнейшей оценки.

Нами проведен предварительный, основанный на этом этапе только на геометрических аспектах анализ модели для территории Республики Беларусь. Проведено сравнение модели EGM2008 и широко используемой модели EGM96. Кроме того, на основе данных спутниковых измерений и данных геометрического нивелирования проведена оценка качества моделей EGM2008 и EGM96, позволяющая сделать определенные предварительные выводы для практических целей и наметить пути дальнейших исследований.

На рисунке 2 представлена в изолиниях модель аномалий высот геоида относительно эллипсоида WGS84, изолинии проведенные через 0,5 м.

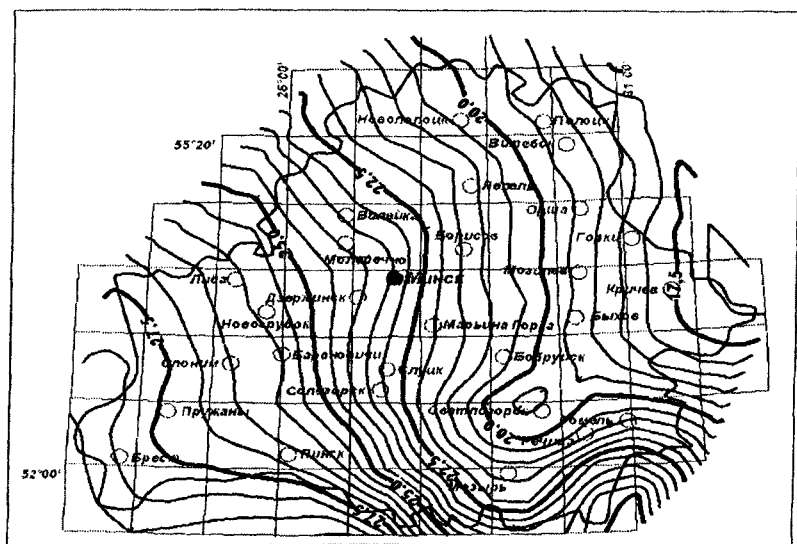


Рис. 2. Изолинии высот геоида EGM2008 на территории Республики Беларусь

На рисунке 3 представлены проведенные через 0,2 м изолинии разностей значений аномалии высоты (EGM2008-EGM96). В целом, по данным статистического анализа, закон распределения разностей близок к

нормальному, систематическое смещение модели EGM2008 относительно модели EGM96 составляет +7,8 см при $\sigma = 20,5$ см.

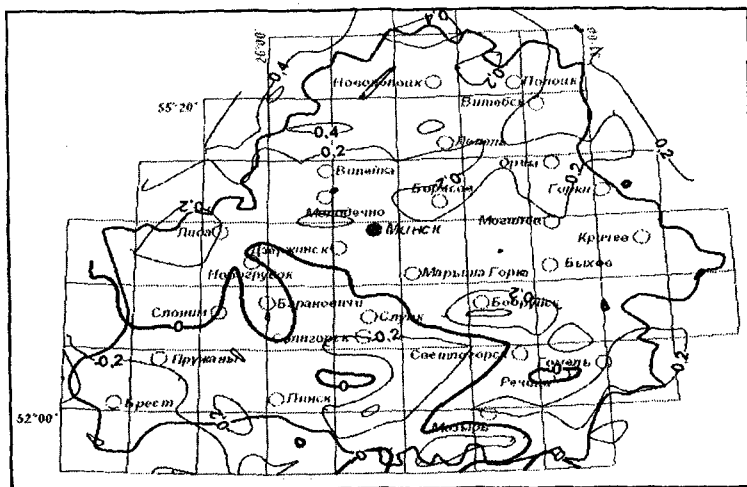


Рис. 3. Разности высот EGM2008 и EGM96

Для предварительного анализа модели EGM2008 отобрано 196 пунктов, геодезические координаты и эллипсоидальные высоты которых определены из спутниковых измерений и жестко связаны с опорными пунктами сети ITRF. Нормальные высоты этих пунктов известны из геометрического нивелирования I и II классов. Схема размещения пунктов приведена на рисунке 4.

Для отобранных пунктов проведена статистическая обработка разностей значений аномалий высоты, полученных из модели EGM2008, и разностей нормальных и эллипсоидальных высот, основные результаты которой представлены в таблице.

В целом закон распределения разностей близок к нормальному, о чем свидетельствуют результаты статистического анализа. Систематическое смещение модели EGM2008 (вызванное разницей отсчетных высот, разностью поверхностей геоида и квазигеоида) относительно результатов спутниковых определений и геометрического нивелирования составляет +5,0 см при $\sigma = 5,3$ см. Асимметрия равна -0,426, эксцесс составляет -0,168, абсолютные их значения меньше критических значений для заданного уровня значимости (95 %) 0,539 и 0,359 соответственно.

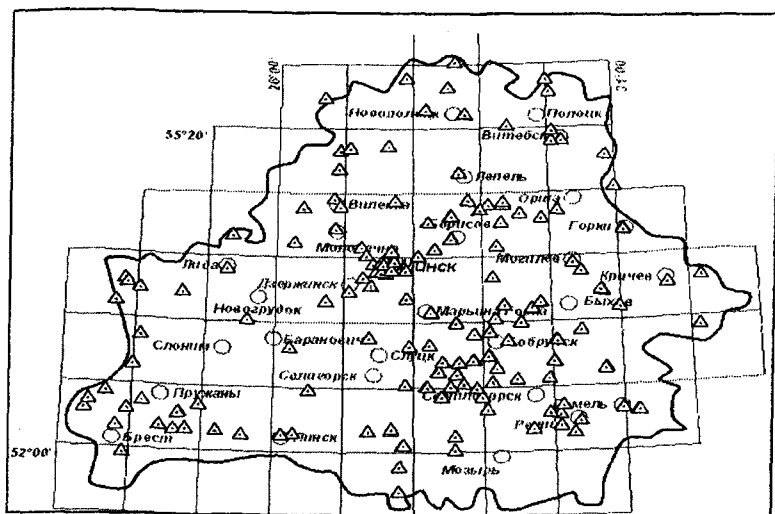


Рис. 4. Схема расположения пунктов

Погрешности	Модель EGM2008 в сравнении с моделью EGM96	Модель EGM96 в сравнении с GPS- и геометрическим нивелированием	Модель EGM2008 в сравнении с GPS- и геометрическим нивелированием
$[A]_{\text{д}}$	+7,8 см	+1,1 см	+5,0 см
+ Δ , шах	+46,9 см	+47,4 см	+11,3 см
- Δ , max	-53,0 см	-52,3 см	-15,7 см
СКП	20,5 см	21,6 см	53 см

На рисунке 5 представлены проведенные через 5 см изолинии этих разностей, систематическое смещение при этом учтено.

В заключение можно сделать следующие предварительные **выводы**:

- модель EGM2008 существенно точнее модели EGM96 и ее можно рекомендовать для замены модели EGM96 в тех работах, в которых модель EGM96 использовалась;

- повышение точности модели геоида расширяет спектр работ, в которых трудоемкое наземное геометрическое и тригонометрическое нивелирование можно не выполнять или выполнять как контрольное, ограничившись спутниковыми измерениями (например - геодезическое обеспечение геофизических методов геологоразведки, топографические работы в средних и мелких масштабах).

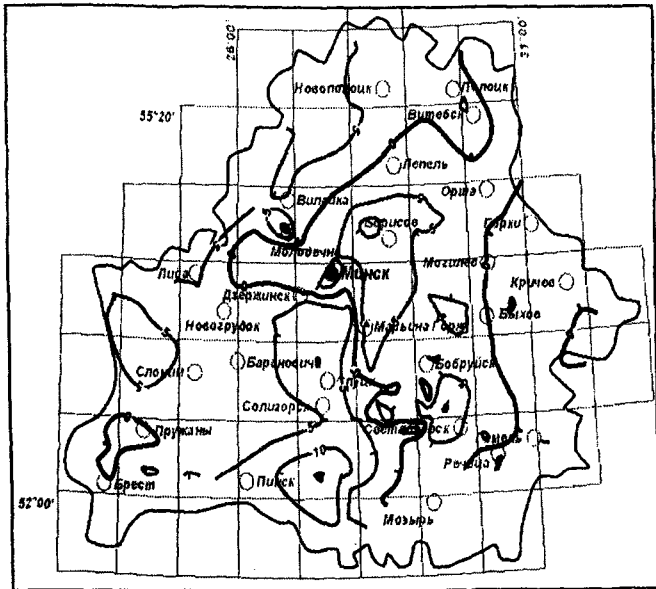


Рис. 5. Изолинии разностей аномалий высот модели EGM2008 и данных GPS-измерений

Вместе с тем выполненная предварительная оценка показывает необходимость более углубленного исследования модели с привлечением дополнительной информации - полной совместно уравненной высотной составляющей СГС Беларуси и точностных характеристик спутниковых измерений, данных гравиметрии, большего объема информации, покрывающей всю территорию республики и большей плотности данных. Кроме того, для этой работы, очевидно, необходимо привлечь данные сопредельных государств. Конечной целью такого исследования должна являться региональная модель геоида Республики Беларусь точности 2 - 3 см, основой которой и может служить модель EGM2008.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>.
2. Непоклонов, В.Б. Определение высот с использованием модели геоида / В.Б. Непоклонов // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. - 2007. - № 3 (26). - С. 56 - 60.