

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОИДА В ЕГИПТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ: ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОГО МОРЯ

М. А. Елшеви^{1,2*}, А. М. Елшештави^{1,2}, Е. А. Чистякова³

¹ Кафедра гражданского строительства, Инженерный факультет в Каире, Университет Аль-Азхар, Египет

² Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

³ Ведущий инженер, ФГБУ Центр геодезии, картографии и ИПД

* mimoelshewy@gmail.com

Цитирование: Елшеви М.А., Елшештави А.М., Чистякова Е.А. Разработка модели локального геоида в Египте с использованием искусственных нейронных сетей: тематическое исследование на побережье Красного моря // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 6. С. 615–624. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-6-615-624

Ключевые слова. ГНСС, глобальные модели гравитационного поля Земли, ГНСС-нивелирования, локальная модель геоида, искусственная нейронная сеть, побережье Красного моря, алгоритм Левенберга - Марквардта

Аннотация

Растущее использование Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в инженерных проектах вдоль побережья Красного моря в Египте требует разработки локальной модели геоида. В статье выполнена оценка точности глобальных моделей гравитационного поля Земли EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159. Затем предпринята попытка создать локальную модель геоида геометрическим методом для исследуемой территории. Также было исследовано влияние количества пунктов спутникового нивелирования, использованных при создании модели, на точность получаемых результатов. Для разработки локальной модели геоида была использована искусственная нейронная сеть. Выполненное исследование показало, что локальная модель геоида, созданная с использованием ИНС, показывает значительно лучший результат. Кроме того, для исследуемой территории, глобальные модели гравитационного поля Земли EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 по точности значительно превосходили глобальную модель EGM2008.

1 Введение

Побережья Красного моря характеризуются разнообразными природными, экологическими и социальными особенностями и хорошо известны наличием сообществ коралловых рифов с их богатой морской жизнью. Крупные курортные города, такие как Дахаб, Хургада, Нувейба и Шарм-эль-Шейх, выходящие на Красное море, являются привлекательными для туристов и, следовательно, вносят большой вклад в валовой внутренний продукт Египта. Поэтому египетское правительство недавно обратило свое внимание на эти территории, реализовав там множество крупных инженерных проектов. В настоящее время применение спутниковых методов является одним из наиболее распространенных в практической геодезии [1]. Но координаты, полученные с помощью ГНСС, включают информацию о высоте, относящуюся к уровенному эллипсоиду [2]. Эти высоты зависят только от геометрии эллипсоида и поэтому не имеют никакого физического смысла. В инженерных работах используется высота как линейное представление гравитационного потенциала, известная как ортометрическая высота, то есть высота над геоидом или средним уровнем моря (MSL) [3]. Нужно отметить, что в Египте пользуются ортометрической системой нивелирных высот, поэтому в дальнейшем речь будет идти об ортометрических высотах и о геоиде.

Глобальная модель гравитационного поля Земли (ГПЗ) это модель геопотенциала Земли и, следовательно, геоида, полученная путем разложения в ряд по сферическим гармоническим функциям компонентов длинной и средней длины волны [4]. Разработка Национальным агентством геопространственной разведки США (NGA) модели EGM2008 и других недавних моделей внесли большой вклад в картографирование ГПЗ на глобальном уровне [5]. Успешная реализация программ CHAMP, GRACE и GOCE создала новые возможности для оперативного высокоточного мониторинга перемещения земных масс, которые порождают изменения в структуре ГПЗ [6]. Данные спутникового нивелирования обычно используются для определения высоты геоида на контрольных пунктах независимо, чтобы сравнить с производными функции геопотенциала [7]. Существует много исследований, посвященных оценке моделей ГПЗ, например [8–11]. В настоящее время спутниковое нивелирование можно рассматривать как альтернативу классическому нивелированию [12]. В спутниковом нивелировании геодезические высоты (h) можно преобразовать в ортометрические высоты (H), применяя фундаментальные уравнения, где N – высоты геоида, (Рис. 1).

$$H = h - N \quad (1)$$

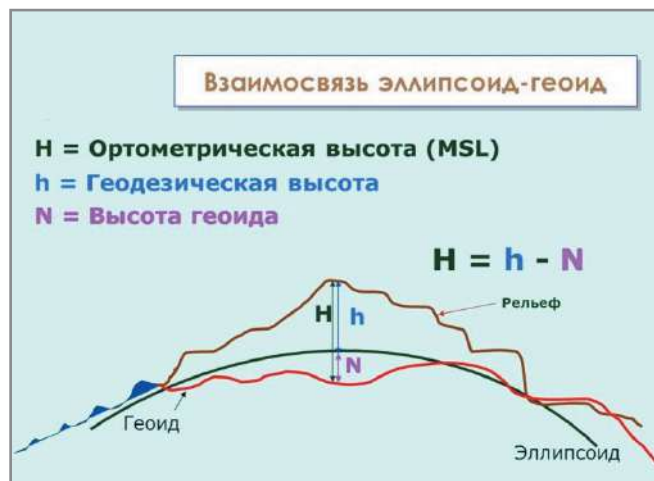


Рис. 1. Взаимосвязь эллипсоид-геоид.

Проблема определения геоида для территории Египта было в центре внимания многочисленных исследований за последние несколько десятилетий, например [13–15], хотя создание высокоточной модели геоида остается нерешенной задачей. Кроме того, в других исследованиях были разработаны модели геоида для конкретных областей, представляющих интерес в Египте: например, Dawod была разработана модель геоида для северной части реки Нил в рамках осуществляемого национального проекта по обновлению гидрографических и топографических карт Нила, и СКП модели уменьшено до 0,17 м [16].

Кроме того, Al-Krargy была разработана локальная модель геоида для северного Египта в зоне Розетта с использованием модельного метода регрессии со средним отклонением $-0,01$ м и СКП $\pm 0,05$ м [8].

Одной из основных задач при использовании модели геоида является получение ортометрических высот относительно среднего уровня моря (MSL) из геодезических высот, полученных в результате использования ГНСС, поскольку в последнее время спутниковые методы все чаще используются для инженерных работ [15]. Несколько факторов, в соответствии с геометрической методы влияют на точность модели геоида [16], например:

- Распределение и количество опорных пунктов спутникового нивелирования. Эти пункты должны быть равномерно распределены по зоне покрытия модели и должны выбираться так, чтобы достоверно отображать изменения на поверхности геоида,
- Точность ГНСС измерений для получения геодезических высот и точность определения ортометрических высот,
- Метод, используемый при создании модели геоида.

В этом отношении существует ряд математических моделей, связывающих высоту геоида (N) с соответствующими местоположениями для определения поверхности геоида. В последние годы, будучи новой отраслью науки, искусственная нейронная сеть (ИНС) являются широко применяемой технологией, которая обеспечивает альтернативный метод моделирования для ограниченных территорий [17]. ИНС состоит из комбинации соединенных блоков или узлов, называемых нейронами, и связями между ними, называемыми ссылками. Информация передается между нейронами через большое количество взвешенных связей. С помощью сложных нелинейных функций со многими параметрами нейрон объединяет полученные входные данные для получения результатов. Благодаря изучению данных, записанных ранее, связь между входными и выходными переменными была распознана ИНС. Важным преимуществом ИНС является их способность обеспечивать решение поставленной задачи без алгоритмического решения или условий, для которых сложно определить алгоритмическое решение [18]. Сегодня ИНС успешно применяют в различных областях машиностроения, промышленности, технологии и т.д. ИНС является одним из новых подходов для создания модели геоида.

В связи с вышесказанным, задачами данного исследования являются оценка точности нескольких моделей ГПЗ, в частности EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159, и создание локальной модели геоида с использованием геометрического метода для исследуемой территории, которая расположена на побережье Красного моря.

2 Материалы и методы

2.1 Область исследования и используемые данные

Исследуемая территория включает в себя побережье Красного моря от Хургады до Марса-Алама. Область исследования простирается примерно на 400 км вдоль побережья Красного моря от исходного пункта Н1 ($27^{\circ}22'40,53''N$, $33^{\circ}38'26,85''E$) до исходного пункта L56 ($24^{\circ}12'25,52''N$, $35^{\circ}25'51,29''E$). Были выбраны 70 опорных точек (пунктов спутникового нивелирования) так, чтобы распределенных было как можно более равномерным с учетом топографии региона. ГНСС измерений проводились в государственной геодезической системе координат Египта. Египетская геодезическая служба (ESA) в 2011 г. выполнила высокоточные нивелирные наблюдения на западном побережье Красного моря. Эти измерения, выполненные в геодезической системе

координат Египта, были взяты за основу для данного исследования. Рисунок 2 иллюстрирует план района исследования. Измерения выполнялись следующими приборами:

- Для определения высоты точек использовался прецизионный нивелир Leica NA2,
- Для ГНСС наблюдений использовались двухчастотные приемники Trimble R8 GNSS.



Рис. 2. Расположение зоны исследования.

2.2 Методика исследования

Оценка точности моделей EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 и разработка локальной модели геоида в регионе от Хургады до Марса Алама было выполнено по следующей методике. Сначала были вычислены геодезические координаты всех 70 пунктов спутникового нивелирования (E , N и h) и ортометрические высоты (H). Затем высоты геоида ($N_{\text{ГНСС/нив}}$) были вычислены из геодезических и ортометрических высот по уравнению (1). Соответствующие высоты геоида, полученные из спутникового нивелирования, сравнивались с величинами, полученными по модели ГПЗ. Высоты геоида были рассчитаны с использованием службы расчета ICGEM для моделей EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 [19]

После этого были созданы модели методом ИНС для разработки локальной модели геоида для района исследования с использованием опорных точек. Чтобы исследовать влияние плотности распределения точек, были рассмотрены три случая с использованием 40, 50 и 60 опорных точек, и получены три локальные модели. Модели ИНС в разных случаях оценивались по 10 контрольным точкам. Полученные высоты геоида ($N_{\text{ИНС}}$) были рассчитаны по лучшей модели

из ИНС. Эти шаги более подробно рассматриваются в следующих подразделах. На Рисунке 3 показана блок-схема используемой методики.

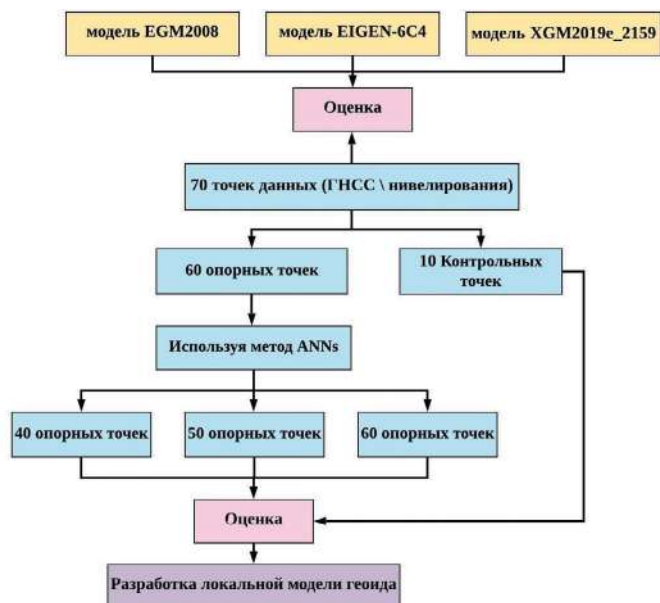


Рис. 3. Блок-схема используемой методики.

2.3 Оценка ГПЗ в области исследования

Для оценки эффективности моделей EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 в области исследования были выполнены следующие действия:

- Высоты геоида всех опорных точек ($N_{\text{ГНСС/нив}}$) были рассчитаны с использованием уравнения (1),
- Получены модельные высоты геоида тех же точек ($N_{\text{ГПЗ}}$);
- Наконец, для оценки точности моделей ГПЗ для исследуемой территории было выполнено сравнение результатов. Различия между $N_{\text{ГНСС/нив}}$ и $N_{\text{ГПЗ}}$ были рассчитаны по уравнению 2:

$$\Delta N = N_{\text{ГПЗ}} - N_{\text{ГНСС/нив}} \quad (2)$$

2.4 Разработка локальной модели геоида по ИНС

Существуют различные модели техники ИНС, включая многослойную feedforward сеть с прямой связью, радиальную базисную сеть, сеть обобщенной регрессии и вероятностные сети и т.д. В этом исследовании для создания локальной модели геоида был выбран вариант многослойной feedforward сети, поскольку обладает хорошими репрезентативными возможностями. Модель ИНС создана и оценена по 10 000 итераций и использованы два скрытых слоя с 20 нейронами. Основываясь на опыте использования различных моделей, алгоритмов и функций, эти значения были использованы в данном

исследовании, поскольку они дали наилучшие результаты. Это было сделано для надежного обучения сети и получения стабильного результата. TANSIG использовался в качестве передаточной функции и в качестве обучающей функции использовался TRAINLM (Рис. 4). Чтобы минимизировать ошибку, использовался алгоритм Левенберга – Марквардта, который адаптивно изменяет неизвестные параметры (веса и смещения) между обновлением градиентного спуска и обновлением Гаусса-Ньютона в соответствии с уравнением (3), пока алгоритм не достигнет стабильного состояния.

$$\Delta R_k = -[J^T J + \mu_k I]^{-1} J^T (N - \hat{N}) \quad (3)$$

Где ΔR_k - теоретическая разность между последовательными оценками одного и того же неизвестного параметра; его также называют индексом производительности. J^T - транспонированная матрица Якоби относительно неизвестных параметров $[\partial R_k / (\partial w_i) \text{ и } (\partial b_0)]^T$. μ_k - это скалярное значение, используемое для того, чтобы матрица Гессе ($J^T J$) была обратимой. I - единичная матрица, размерность которой равна количеству неизвестных параметров. N представляет собой ответные сигналы цели (в нашем случае это измеренные высоты геоида в общей точке, как в уравнении 1, и \hat{N} представляет собой прогнозируемые значения высот геоида в общей точке, рассчитанные по уравнению (4):

$$\hat{N} = \sum_{i=1}^n a_k^i W_i^1 + b_0^1 \quad (4)$$

$$\text{Где: } a_k^i = F(n_k^i) = \frac{e^{n_k^i} - e^{-n_k^i}}{e^{n_k^i} + e^{-n_k^i}} \quad (5)$$

Модель ИНС была построена с использованием программного обеспечения MATLAB R2016a. Создание модели проводилось в три этапа: обучение, проверка и тестирование.

1. В процессе обучения модели были использованы 70% исходных и искомых данных. Такой набор позволил установить связь между исходными и искомыми данными и оценить точность вычисленной модели.

2. Во время процесса проверки 15% исходных и искомых данных использовались для уточнения вычисленной модели. Обучение модели прекращается, когда результат проверки перестает улучшаться.

3. В процессе тестирования 15% исходных и искомых данных были использованы для независимой оценки точности полученной модели.

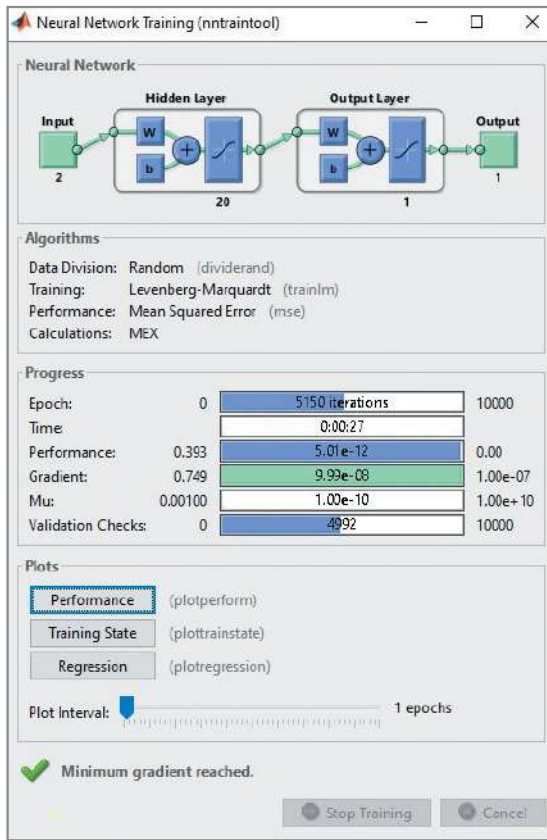


Рис. 4. Характеристики используемого ИНС.

3 Результаты и обсуждение

3.1 Точность моделей EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159

Первым шагом было вычисление высоты геоида по 70 опорным точкам ($N_{\text{ГНСС/нив}}$). Затем был вычислен $N_{\text{ГПЗ}}$ по тем же точкам. На рисунке 5 показаны карты высот геоида для исследуемой территории, полученных по моделям EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 соответственно, полученные из ICGEM. Чтобы оценить точность моделей EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159, были рассчитаны разности между $N_{\text{ГНСС/нив}}$ и $N_{\text{ГПЗ}}$ по уравнению (2).

В Таблице 1 представлено сравнение высот геоида, полученных из измерений, и соответствующими значениями, вычисленными на основе моделей ГПЗ в 70 точках.

В Таблице 1 показано, что модель EIGEN-6C4 дает наименьшее СКП для разностей со значением $\pm 0,25$ м. В то время как модель XGM2019e_2159 занимает по точности второе место с СКП $\pm 0,27$ м. На последнем месте оказалась модель EGM08 с СКП $\pm 0,47$ м. Для исследуемой территории модели EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 дают заметно лучший результат, чем модель EGM2008.

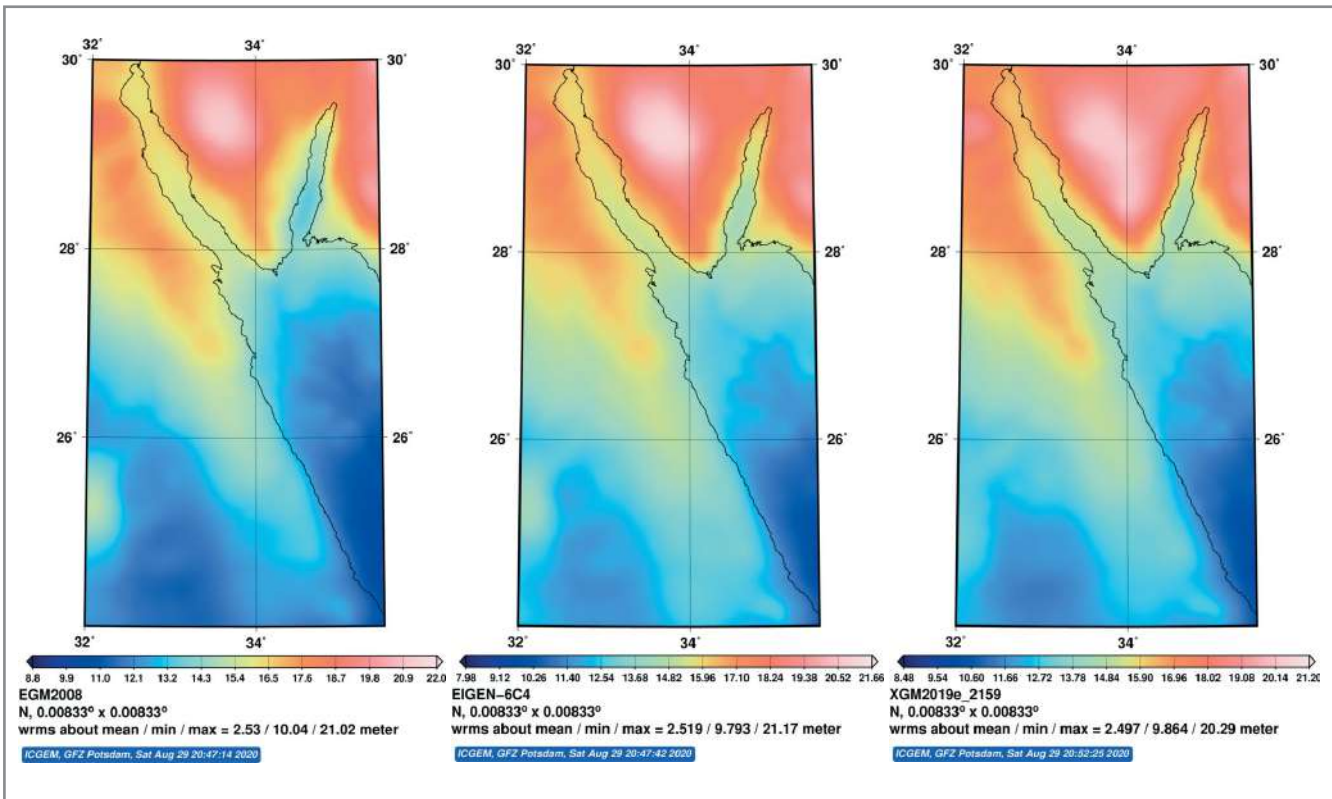


Рис. 5. Карты высот геоида исследуемой области из глобальных моделей EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 соответственно.

Отклонение	EGM2008	EIGEN-6C4	XGM2019e_2159
Среднее (м)	0.34	0.05	0.01
СКП (м)	0.47	0.25	0.27
Диапазон	1.82	1.33	1.31
Минимальное (м)	-0.28	-0.56	-0.60
Максимальное (м)	1.55	0.78	0.72

Таблица 1. Сравнение $N_{ГПЗ}$ и $N_{ГНСС/нив}$ для 70 точек.

Это может быть связано с количеством и качеством набора данных, использованных при разработке первых двух моделей. Эти результаты согласуются с тем, что Канушин упоминал, что модель EIGEN-6C4 показала улучшение пространственного разрешения и точности высот квазигеоида для исследуемых территорий по сравнению с данными модели EGM2008 на 5% [10]. Исходя из этих результатов, можно отметить, что точность, полученная с помощью модели ГПЗ на исследуемой территории, недостаточна для многих инженерных работ, и, следовательно, существует острая необходимость в создании локальной модели геоида с требуемой точностью.

ИНС, а также ее потенциал для прогнозирования новых значений.

После этого значения $N_{ИНС}$ высот геоида сравнивались с высотами геоида $N_{ГНСС/нив}$ на 10 контрольных точках. В Таблице 2 представлены полученные результаты.

Из Таблицы 2 видно, что с увеличением количества точек точность локальной модели геоида, полученной с помощью ИНС, улучшается, что вполне ожидаемо. Лучшая локальная модель геоида в исследуемом районе получена при использовании 60 точек (Е и N). Использование этой модели дает абсолютную ошибку от -0,11 м до +0,08 м со средним значением -0,02 м, а СКП составляет $\pm 0,06$ м.

3.2 Точность выполнения локальной модели геоида по ИНС

ИНС были сгенерированы программой MATLAB с использованием набора инструментов нейронной сети (nntool). Используя данные с 40, 50 и 60 опорных точек, были созданы три разные модели ИНС для получения локальной модели геоида (обозначим высоты геоида, полученные по локальной модели $N_{ИНС}$). Кроме того, в каждой модели $N_{ИНС}$ вычислялись с использованием только координат Востока и Севера (Е и N) или с использованием Востока, Севера и геодезической высоты (Е, N и h). На рисунке 6 показана корреляционная функция (R) между выходной сетью и целевой сетью, которая используется для оценки модели ИНС. Наличие зависимости со значением R, близким к 1, можно увидеть в процессах обучения, проверки и тестирования. Эти результаты подтвердили надежность структуры

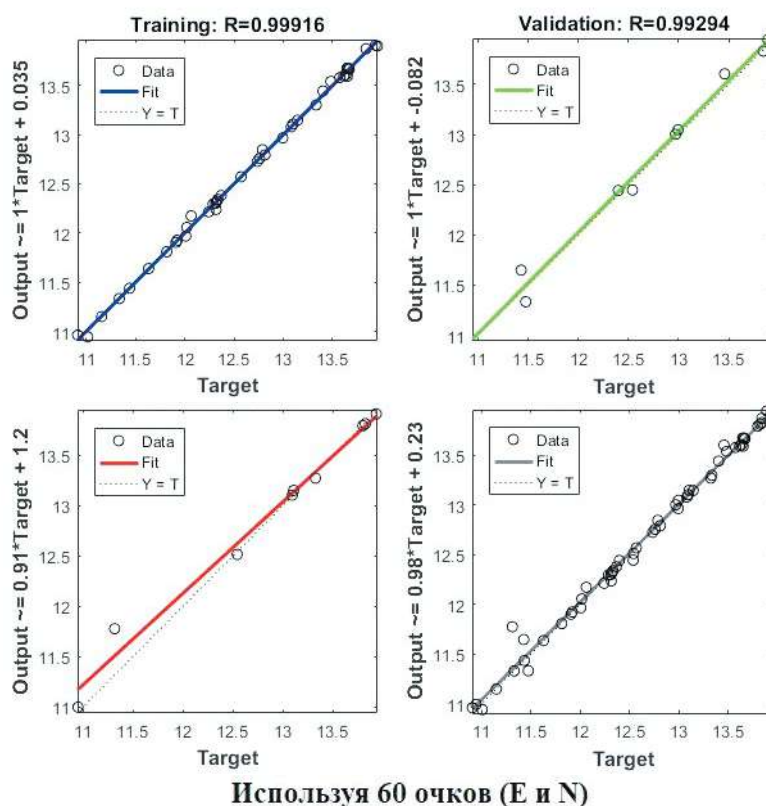


Рис. 6. График регрессии данных обучения, проверки и тестирования из модели ANN при использовании 60 точек.

Отклонение	40 точек		50 точек		60 точек	
	Е, N	Е, N, h	Е, N	Е, N, h	Е, N	Е, N, h
Среднее (м)	-0.05	0.01	0.03	-0.02	-0.02	-0.03
СКП (м)	0.16	0.18	0.11	0.11	0.06	0.09
Диапазон	0.58	0.59	0.38	0.35	0.20	0.33
Минимальное (м)	-0.38	-0.27	-0.14	-0.22	-0.11	-0.19
Максимальное (м)	0.21	0.32	0.24	0.13	0.08	0.15

Таблица 2. Сравнение $N_{ИНС}$ и $N_{ГНСС/нив}$ по 10 контрольным точкам.

Для сравнения глобальных моделей геоида EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 с локальной моделью геоида, разработанной по методике ИНС, были рассчитаны dN -EGM2008, dN -EIGEN-6C4, dN -XGM2019e_2159, dN -ИНС для 70 опорных точек, см. рисунок 7, где:

$$dN - EGM08 = N_{EGM2008} - N_{ГНСС/нив} \quad (6)$$

$$dN - EIGEN - 6C4 = N_{EIGEN-6C4} - N_{ГНСС/нив} \quad (7)$$

$$dN - XGM2019e_2159 = N_{XGM2019e_2159} - N_{ГНСС/нив} \quad (8)$$

$$dN - ИНС = N_{ИНС} - N_{ГНСС/нив} \quad (9)$$

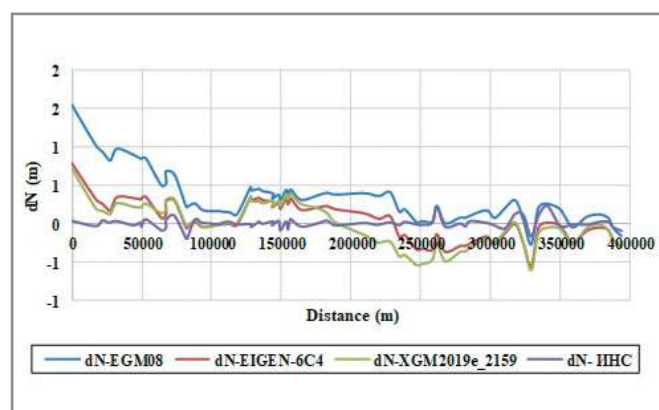


Рис. 7. Связь между dN -EGM08, dN -EIGEN-6C4, dN -XGM2019e_2159, dN -ИНС и расстоянием (начинается с точки Н1).

На Рисунке 7 показано, что созданная локальная модель геоида в целом превосходит модели EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e 2159. Точность модели геоида, созданной по ИНС, лучше, чем модели EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e 2159 для исследуемой области примерно на 86%, 73% и 76% соответственно, согласно результатам.

4 Выводы

Несмотря на широкое использование ГНСС-технологий в инженерных проектах, проблема, с которой сталкиваются при производстве инженерно-геодезических работ, заключается в том, что из ГНСС-измерений мы получаем геодезическую высоту, в то время как в инженерных работах используются ортометрические высоты (в частности, на территории Египта). В связи с этим возникает необходимость получения точной модели геоида и, следовательно, улучшение методов и приемов вычисления высот геоида. Данная статья решает две основные задачи: оценку точности моделей EGM2008, EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 для территории Египта и разработку локальной модели геоида, которая позволит вычислить ортометрические высоты по измеренным геодезическим высотам с более высокой точностью. Модель EGM2008 позволяет получить точность определения высоты геоида для исследуемой территории с СКП 0,47 м, в то время как модели EIGEN-6C4 и XGM2019e_2159 дают СКП равно 0,25 м и 0,27 м соответственно. Для разработки локальной модели геоида использовался геометрический метод с использованием моделей ИНС. Точность, которая может быть достигнута применением локальной модели геоида, вычисленной с применением ИНС, в исследуемом районе составляет 0,06 м. Как правило, результат применения модели, полученной с использованием ИНС, является надежным для получения локальной модели геоида. Результаты исследования показали, что с увеличением количества точек точность локальной модели геоида, полученной с помощью ИНС, повышается. Рекомендуется применять современные методы мягких вычислений, такие как ИНС, чтобы проверить их достоверность и производительность при создании модели геоида для территории Египта.

Библиография

1. Куприянов А.О. Применение псевдоспутников в позиционировании и навигации // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2019. Т. 63, № 4. С. 385–391. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-4-385-391.
2. Lambrou E. Precise Local Geoid Definition Case Study: Nisyros Island in Greece // International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation, ISSN. 2018. P. 1851–2456.
3. Mishra U.N., Ghosh J.K. Development of a Geoid Model by Geometric Method // Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. Springer India, 2017. Vol. 98, № 4. P. 437–442.
4. Avsar N.B., Kutoglu S.H., Erol B. GNSS/Levelling data in assessing the fit of the recent Global Geoids in Turkey // International Symposium of Global Navigated System (ISGNSS) 2013 “Connecting Continents through GNSS where Europe and Asia meet” (Istanbul 2013). 2013.
5. Pavlis N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008/EGU General Assembly 2008. Vienna, Austria, April 13-18. 2008.
6. Кашеев Р.А., Комаров Р.В., Новлянская И.О., Хуснутдинов Н.Р. Сравнительный анализ моделей геопотенциала по результатам описания регионального геоида зоны Поволжья // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2020. Т. 64. № 1. С. 32–37. DOI: 10.30533/0536-101X-2020-64-1-32-37.
7. Erol B., Işık M.S., Erol S. An assessment of the GOCE high-level processing facility (HPF) released global geopotential models with regional test results in Turkey // Remote Sensing. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 12, № 3. 586 p.
8. Al-Krargy E.M., Doma M.I., Dawod G.M. Towards an accurate definition of the local geoid model in Egypt using GPS/leveling data: a case study at Rosetta zone // International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME). 2014. Vol. 2, № 11.
9. Абакушина М.В., Непоклонов В.Б. Оценка точности моделей гравиметрического геоида в континентальных районах // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. № 6. С. 17–23.
10. Канушин В.Ф., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н., Мазурова Е.М., Косарев Н.С., Косарева А.М. Современные глобальные модели квазигеоида: точностные характеристики и разрешающая способность // Вестн. СГУГиТ. 2017. Т. 22. № 1. С. 30–49.
11. Hamdy A.M., Shaheen B.A. Global Geopotential Models Assessment Using Accurate DGPS / Precise Levelling Observations Along the Mediterranean Coastal Line, Egypt: Case Study. 2020. Vol. 9, № 1. P. 13–22.
12. Erol B. An automated height transformation using precise geoid models // Scientific Research and Essays. Academic Journals, 2011. Vol. 6, № 6. P. 1351–1363.
13. Rabah M., Kaloop M. The use of minimum curvature surface technique in geoid computation processing of Egypt // Arabian journal of geosciences. Springer, 2013. Vol. 6, № 4. P. 1263–1272.
14. El-Ashqer M.A.A. An improved hybrid local geoid model for Egypt. [PhD dissertation]. Zagazig University, 2017. № January. P. 171.
15. Dawod G.M., Abdel-Aziz T.M. Utilization of geographically weighted regression for geoid modelling in Egypt // Journal of Applied Geodesy. De Gruyter, 2020. Vol. 14, № 1. P. 1–12.
16. Kaloop M., Rabah M., EL-Shmbaky H. High Accurate Local Geoid in Egypt // FIG Working Week. 2008.
17. Gao CY, Cui XM H.X. Study on the applications of neural networks for processing deformation monitoring data // In Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications Ltd., 2014. Vol. 501. P. 2149–2153.
18. Konakoglu B., Cakır L., Gökalp E. 2D coordinate transformation using artificial neural networks // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Copernicus GmbH, 2016. Vol. 42. P. 183.
19. ICGEM. International Centre for Global Earth Models (ICGEM)”, Available at: <http://icgem.gfz-potsdam.de/calcpoints>, (Accessed: 05 June 2020).

Елшеви Мохамед Абделвадод

Университет Аль-Азхар, Египет; Кафедра гражданского строительства; Инженерный факультет в Каире
ORCID: 0000-0001-8367-207X

Елшештави Амр Махмуд

Университет Аль-Азхар, Египет; Кафедра гражданского строительства; Инженерный факультет в Каире
ORCID: 0000-0003-0668-2375

Чистякова Екатерина Александровна

ФГБУ Центр геодезии, картографии и ИПД; Ведущий инженер
ORCID: 0000-0001-6385-487X

Поступила 18.05.2021. Рецензия получена 16.12.2021. Принята к публикации 20.12.2021

DEVELOPING A LOCAL GEOID MODEL IN EGYPT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: A CASE STUDY ON THE RED SEA COAST

Mohamed A. Elshewy^{1,2*}, Amr M. Elsheshtawy^{1,2}, Ekaterina A. Chistiakova³

¹ Civil Engineering Department, Faculty of Engineering in Cairo, Al-Azhar University, Egypt

² State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

³ Lead engineer, Center of Geodesy, Cartography and SDI

* mimoelshewy@gmail.com

Citation: Elshewy MA, Elsheshtawy AM, Chistiakova EA. Developing a Local Geoid Model in Egypt using Artificial Neural Networks: A Case Study on the Red Sea coast. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. Moscow. 2021;65(6): 615-624. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-6-615-624

Keywords. GNSS, global geopotential models, local geoid model, GNSS-levelling, artificial neural networks, Red Sea coast, Levenberg - Marquardt algorithm

Abstract. The growing usage of the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) in many engineering projects along Red Sea coasts in Egypt necessitates the development of a local geoid model in this area. The accuracy of the global geopotential models EGM2008, EIGEN-6C4, and XGM2019e 2159 was evaluated in this study. Then, an attempt was made to create a local geoid model for the study area using a geometric method. The height of the geoid at any point of the geoid model was calculated and predicted using an Artificial Neural Network (ANN). The effect of the number of GNSS/leveling points used on model accuracy was also investigated. The accuracy of geoid heights derived from EGM2008 in the study area has an RMSE of around 0.47m, whereas the accuracy of geoid heights derived from EIGEN-6C4 and XGM2019e 2159 has an RMSE of about 0.25 m and 0.27 m, respectively. The ANN-created local geoid model showed significant improvement in research. The accuracy of the ANN models in determining the local geoid model in the research area ranged from -0.11 m to 0.08 m, with an RMSE of 0.06 m. Furthermore, the results demonstrated that the accuracy of the ANN-created local geoid model improves with increasing number of points.

References

1. Kupriyanov AO. On application of the pseudo-satellites in positioning and navigation. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2019;63(4): 385–391. (In Russian) DOI:10.30533/0536-101X-2019-63-4-385-391.
2. Lambrou E. Precise Local Geoid Definition Case Study: Nisyros Island in Greece. *International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation*; 2018. p. 1851–2456.
3. Mishra UN, Ghosh JK. Development of a Geoid Model by Geometric Method. *Journal of The Institution of Engineers: Series A. Springer India*. 2017;98(4): 437–442.
4. Avsar NB, Kutoglu SH, Erol B. GNSS/Levelling data in assessing the fit of the recent Global Geoids in Turkey. *International Symposium of Global Navigated System (ISGNSS)*. Connecting Continents through GNSS where Europe and Asia meet. Istanbul. 2013.
5. Pavlis NK, Holmes SA, Kenyon SC, Factor JK. An Earth Gravitational Model to Degree 2160. *EGM2008/EGU General Assembly*. Vienna, Austria. 2008.
6. Kascheev RA, Komarov RV, Novlyanskaya IO, Khusnutdinov NR. Comparative analysis of the geopotential models based on the description of the regional geoid of the Volga region. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020;64(1): 32–37. (In Russian). DOI: 10.30533/0536-101X-2020-64-1-32-37.
7. Erol B, Işık MS, Erol S. An assessment of the GOCE high-level processing facility (HPF) released global geopotential models with regional test results in Turkey. *Remote Sensing*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2020;12(3). 586p.
8. Al-Krargy EM, Doma MI, Dawod GM. Towards an accurate definition of the local geoid model in Egypt using GPS/leveling data: a case study at Rosetta zone. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)*. 2014. 2(11).
9. Abakushina MV, Nepoklonov VB. The estimation of accuracy gravimetric geoid models in continental regions. *Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2016;6: 17–23. (In Russian).
10. Kanushin VF, Ganagina IG, Goldobin DN, Mazurova EM, Kosarev NS, Kosareva AM. New global models of quasi-geoids: characteristic of accuracy and resolution. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*. 2017;22(1). (In Russian).
11. Hamdy AM, Shaheen BA. Global Geopotential Models Assessment Using Accurate DGPS. *Precise Levelling Observations Along the Mediterranean Coastal Line*. Egypt: Case Study. 2020;9(1): 13–22.
12. Erol B. An automated height transformation using precise geoid models. *Scientific Research and Essays. Academic Journals*. 2011;6(6): 1351–1363.

13. Rabah M, Kaloop M. The use of minimum curvature surface technique in geoid computation processing of Egypt. *Arabian journal of geosciences. Springer*. 2013;6(4): 1263–1272.
14. El-Ashqer MAA. An improved hybrid local geoid model for Egypt. [PhD dissertation]. Zagazig University, 2017. 171 p.
15. Dawod GM, Abdel-Aziz TM. Utilization of geographically weighted regression for geoid modelling in Egypt. *Journal of Applied Geodesy. De Gruyter*. 2020;14(1): 1–12.
16. Kaloop M, Rabah M, EL-Shmbaky H. High Accurate Local Geoid in Egypt. *FIG Working Week*. 2008.
17. Gao CY, Cui XM HX. Study on the applications of neural networks for processing deformation monitoring data. *In Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications Ltd. 2014;501: 2149–2153.
18. Konakoglu B, Cakır L, Gökalp E. 2D coordinate transformation using artificial neural networks. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Copernicus GmbH. 2016;42: 183.
19. ICGEM. International Centre for Global Earth Models (ICGEM). Available at: <http://icgem.gfz-potsdam.de/calcpoints>, (Accessed: 05 June 2020).

Mohamed A. Elshewy

Al-Azhar University, Egypt; Civil Engineering Department; Faculty of Engineering in Cairo

Assistant lecturer

ORCID: 0000-0001-8367-207X

Amr M. Elsheshtawy

Al-Azhar University, Egypt; Civil Engineering Department; Faculty of Engineering in Cairo; Assistant lecturer

ORCID: 0000-0003-0668-2375

Ekaterina A. Chistiakova

Center of Geodesy, Cartography and Spatial Data Infrastructure; Lead engineer

ORCID: 0000-0001-6385-487X

Received 2021.05.18. Revised 2021.12.16. Accepted 2021.12.20