

Код МРНТИ 36.16.35

Х.М. Касымканова<sup>1</sup>, А.А. Кенбаев<sup>2</sup>, \*Р.А. Ахметов<sup>1</sup>, А. Ибраимова<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

<sup>2</sup>РГП на ПХВ «Национальный центр геодезии и пространственной информации» (г. Астана, Казахстан)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются перспективы применения спутникового нивелирования в Республике Казахстан при решении инженерно-технических задач в области геопространственной цифровой инженерии. Проведен анализ результатов, полученных методом спутникового нивелирования, рассмотрены преимущества и недостатки спутникового нивелирования. Данные, полученные по результатам полевых работ, обработаны в программном обеспечении Leica Infinity, проведена их верификация точности. Статья представляет собой анализ возможностей применения спутникового нивелирования при решении инженерных и научных задач в области геодезии, маркшейдерии.

**Ключевые слова:** спутниковое нивелирование, глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), Leica Infinity, геодезическая сеть, точность измерений, государственная нивелирная сеть, геоид, квазигеоид, ортометрическая высота, эллипсоидальная высота.

### Қазақстан Республикасы жағдайында спутниктік нивелирлеуді қолданудың болашағы

**Аннотация.** Осы мақалада Қазақстан Республикасы жағдайында геокеңістіктің цифрлық инженерия саласындағы инженерлік-техникалық міндеттерді шешуде спутниктік нивелирлеуді қолданудың болашағы қарастырылады. Спутниктік нивелирлеу әдісімен алынған нәтижелерге талдау жүргізіліп, спутниктік нивелирлеудің артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылды. Далалық жұмыстар нәтижесінде алынған деректер Leica Infinity бағдарламалық қамтамасыз етуде өңделіп, олардың дәлдігіне верификация жүргізілді. Мақала геодезия және маркшейдерия салаларында инженерлік және ғылыми міндеттерді шешуде спутниктік нивелирлеуді қолдану мүмкіндіктеріне талдау ұсынады.

**Түйінді сөздер:** спутниктік нивелирлеу, ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер (ГНСС), Leica Infinity, геодезиялық желі, өлшеу дәлдігі, мемлекеттік нивелирлік желі, геоид, квазигеоид, ортометриялық биіктік, эллипсоидтық биіктік.

### Prospects for the application of satellite levelling in the Republic of Kazakhstan

**Abstract.** This article examines the prospects for the application of satellite levelling in the Republic of Kazakhstan in solving engineering and technical tasks in the field of geospatial digital engineering. An analysis of the results obtained by the method of satellite levelling has been conducted, and the advantages and disadvantages of satellite levelling are considered. The data collected from fieldwork were processed using Leica Infinity software, and their accuracy was verified. The article presents an analysis of the possibilities of applying satellite levelling to solve engineering and scientific tasks in the fields of geodesy and mine surveying.

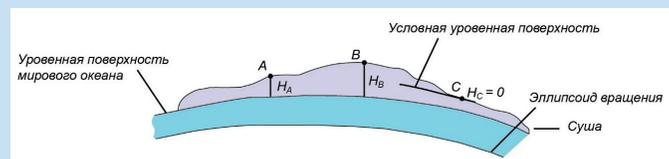
**Key words:** satellite levelling, global navigation satellite systems (GNSS), Leica Infinity, geodetic network, measurement accuracy, national levelling network, geoid, quasi-geoid, orthometric height, ellipsoidal height.

### Введение

Развитие современных и передовых технологий в геодезии предоставляет новые возможности для точного определения отметок высот на больших территориях [1–2]. В последние годы применение спутниковых технологий становится все более популярным и востребованным методом при определении не только планового положения, но и в определении высотных отметок [3], в том числе и на территории Республики Казахстан. Определение абсолютных высот с применением технологии Глобальных навигационных спутниковых систем называют спутниковым нивелированием [4].

На рис. 1 схематично представлены основные геометрические поверхности, применяемые в геодезии и спутниковом нивелировании. Уровенная поверхность мирового океана соответствует геоиду – физической поверхности равного гравитационного потенциала, принимаемой за эталон нулевого уровня ортометрических высот. В инженерно-геодезической практике для удобства часто используется условная уровенная поверхность, которая устанавливается, исходя из региональных особенностей, и может отличаться от геоида.

Точки А и В расположены на земной поверхности и имеют ортометрические высоты  $H_A$  и  $H_B$  относительно условной уровенной поверхности. Точка С лежит непосредственно на этой поверхности и имеет высоту  $H_C = 0$ . Под условной уровенной поверхностью показан эллипсоид вращения – математическая модель фигуры Земли, применяемая в глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) и современных геодезических координатных системах.



**Рис. 1. Графическое представление видов высот. Сурет 1. Биіктіктер түрлерінің графикалық бейнеленуі.**

**Figure 1. Graphical representation of elevation types.**

Данный рисунок иллюстрирует необходимость учета разницы между ортометрическими и эллипсоидальными высотами при решении задач спутникового нивелирования и трансформации геодезических данных. Корректное понимание взаимосвязей между этими поверхностями позволяет повышать точность инженерно-геодезических измерений и расчетов.

Анализ международного опыта показывает, что в последние годы применение спутникового нивелирования как альтернативы классическому геометрическому нивелированию получило большой импульс [5]. Специалисты из различных стран производят исследования по повышению точности и разработки наиболее приемлемой методики выполнения спутникового нивелирования.

Согласно научным трудам зарубежных специалистов, большинство развитых и развивающихся стран активно применяют и изучают возможности спутниковых технологий при определении высот для различных научных и прикладных целей, включая мониторинг природных и техногенных явлений и создание точных карт высот [6].

Опыт этих стран может быть полезен для Казахстана, где использование ГНСС может значительно повысить точность геодезических работ на больших территориях с разнообразным рельефом. Спутниковое нивелирование получило особую актуальность с внедрением новой единой системы координат на территорию Республики Казахстан QazTRF-23 (Qazaqstan Terrestrial Reference Frame 2023), принятой Постановлением Правительства №208 от 14.03.2023 года «Об установлении государственных систем отсчета и картографических проекций» и развитием собственной сети постоянно действующих референционных станций (CORS).

Теоретические аспекты спутникового нивелирования заключаются в следующем: спутниковое нивелирование основано на использовании ГНСС, таких как GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou, IRNSS, QZSS и предоставляет возможность получать точные данные об отметках высот сравнительно на больших территориях. Приемники ГНСС позволяют измерять трехмерные координаты точки, включая геодезическую (эллипсоидальную) высоту над референц-эллипсоидом. Чтобы получить физическую высоту (ортометрическую, отсчитываемую от уровня геоида, близкого к среднему уровню моря), необходимо внести поправку за форму геоида. Таким образом, спутниковое нивелирование фактически определяет высоту точки как сумму эллипсоидальной высоты и значения высоты геоида (квазигеоида) в данной точке. Применение спутникового нивелирования создает возможность определения высот на больших расстояниях и труднодоступных участках с меньшими затратами относительно классических методов, что особенно актуально для Казахстана, где значительные расстояния и многообразие рельефа местности требуют применения современных технологий для повышения эффективности геодезических работ.

Важным теоретическим аспектом спутникового нивелирования является необходимость использования модели геоида (квазигеоида) для перехода от эллипсоидальных высот к ортометрическим. На сегодняшний день в Казахстане часто используют глобальную модель геоида EGM2008 [7], она позволяет вычислять значение высоты геоида для любой точки Земли. Однако глобальные модели не учитывают всех особенностей гравитационного поля на конкретную территорию, что может приводить к систематическим погрешностям при определении высот [8].

Для точного спутникового нивелирования требуется использование высокоточной региональной модели (квазигеоида), разработанной с учетом локальных гравиметрических данных. Квазигеоид используется для преобразования отметок высот (эллипсоидальных высот), полученных по результатам спутниковых измерений в физические высоты (ортометрические высоты), более привычные для практического использования. Разработка и внедрение собственного квазигеоида на территории Республики Казахстан – актуальная задача, решение которой позволит учитывать локальные геофизические особенности и значительно повысить точность и надежность спутникового нивелирования. По сути, наличие точной модели квазигеоида даст возможность напрямую получать привычные

высоты (ортометрические) из данных ГНСС, что сделает спутниковое нивелирование полноценной заменой классического метода – геометрическое нивелирование на практике. Спутниковое нивелирование имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Преимущество заключается в следующем:

- *точность, которая может варьироваться в зависимости от разных условий (погодных условий, наличие препятствий, применяемого программного обеспечения, продолжительности наблюдений), но в целом обеспечивает высокую точность результатов на больших территориях;*

- *скорость и эффективность, что позволяет в разы ускорить процесс съемки, так как данные можно получать практически в режиме реального времени. Для выполнения работ по спутниковому нивелированию достаточно одного исполнителя в каждую бригаду;*

- *применимость в различных условиях, т. е. менее зависимо от рельефа и может использоваться в различных условиях, включая горные районы и открытые степи, и есть возможность выполнения работ в темное время суток.*

Недостатком являются первоначальные затраты на приобретение оборудования, которые могут быть достаточно высокими, но в долгосрочной перспективе использование ГНСС снижает общие затраты за счет сокращения времени и высокой производительности.

### **Методы исследования**

Для проверки возможностей спутникового нивелирования в условиях Казахстана была создана локальная геодезическая сеть в городе Алматы вдоль улицы Гагарина (между улицами Жандосова и Толе би). Локальная сеть состоит из одного исходного грунтового репера II класса №884, входящего в состав нивелирной сети Алматинского геодезического полигона и четырех дополнительных точек, закрепленных на местности металлическими дюбелями. Схема расположения локальной сети приведена на рис. 2.

На созданной локальной геодезической сети полевые исследования проводились в два сеанса: первый сеанс наблюдений был проведен 20 ноября 2024 года. На каждой из пяти точек сети устанавливались геодезические двухчастотные приемники ГНСС, которые работали в режиме статики. Угол отсечения по высоте спутников был выставлен  $0^\circ$  (т. е. использовались все видимые спутники до горизонта). Производился непрерывный сбор сигналов от всех доступных навигационных созвездий (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou). Интервал регистрации наблюдений составлял 15 секунд. Данные каждого приемника записывались в файл формата RINEX 3.02, что обеспечивает совместимость при последующей обработке. Продолжительность непрерывных наблюдений на каждой точке составила около 3 часов.

С целью проверки повторяемости результатов был проведен второй сеанс наблюдений 7 декабря 2024 года на тех же самых точках с аналогичными параметрами съемки. Продолжительность сеансов наблюдений – около 4,5 часов.



**Рис. 2. Схема расположения локальной сети. Сурет 2. Жергілікті желінің орналасу схемасы. Figure 2. Local area network layout diagram.**

Камеральная обработка полученных данных выполнялась в два этапа в ПО Leica Infinity 4.0.2. В качестве опорных точек использовались 4 базовые станции, расположенные в Алматы (ALA 1, KAZGEOKART, Almaty, ALMA 3). На первом этапе произведен расчет координат методом PPP (Precise Point Positioning) с использованием точных эфемерид и часов IGS для каждой точки сети независимо. На втором этапе в ходе уравнивания применялся метод двойных разностей (DD) для устранения влияния систематических ошибок – аппаратных задержек приемника и

спутниковых часов, а также для компенсации ионосферных и тропосферных задержек [9]. В программе Leica Infinity по умолчанию используется ионосферно-нечувствительная комбинация (LC) двухчастотных фазовых измерений, что значительно снижает погрешности, вызванные ионосферой. Для учета тропосферной рефракции использована встроенная модель (модель Сааствамойнена), основанная на заданных метеопараметрах. Точные орбиты спутников (файлы SP3) загружались с сервиса IGS (<http://www.igs.org/products>), что повысило надежность решения по высоте. Были учтены индивидуальные калибровки антенн (файлы ANTEX) для коррекции смещения фазового центра. Решение в каждой сессии получено методом наименьших квадратов, при этом программа сравнивала так называемое «фиксированное» решение (при успешном разрешении фазовых неоднозначностей) с «плавающим» решением (без фиксации). Также в процессе пост-обработки к полученным результатам была применена модель глобального геоида EGM2008, с шагом сетки 5 градусов для получения ортометрической высоты, что позволило произвести анализ возможности применения регионального квазигеоида для определения высот, то есть получения конечного результата спутникового нивелирования.

**Результаты и обсуждение**

В таблице 1 приведены полученные результаты спутникового нивелирования первого и второго сеансов наблюдений.

Как видно из таблицы 1, разница высот на каждом отдельном пункте между сеансами наблюдений ортометрических и эллипсоидальных высот одинаковая, и на всех пунктах наблюдается общая динамика оседания высоты, что может быть обусловлено разностями по времени и температурой окружающей среды в момент выполнения полевых работ в каждом сеансе наблюдений. Также по результатам видно, что точка 3 имеет отрицательную динамику и выбивается от общей картины полученных результатов, что может быть объяснено возможным влиянием человеческого фактора при измерении высоты антенны приемника при производстве полевых работ, так как во время полевых работ не выполнены контрольные

*Таблица 1*

*Результаты спутникового нивелирования первого и второго сеансов наблюдений*

*Кесте 1*

*Бірінші және екінші бақылау сеанстарының спутниктік нивелирлеу нәтижелері*

*Table 1*

*Results of satellite leveling from the first and second observation sessions*

Название точки	Ортометрическая высота, м			Эллипсоидальная высота, м			СКО, м	
	1 сеанс	2 сеанс	ΔН	1 сеанс	2 сеанс	ΔН	1 сеанс	2 сеанс
Гр. рп. 884	839,2527	839,1968	0,0559	795,1158	795,0598	0,0560	0,0035	0,0074
Точка 1	817,4406	817,4148	0,0258	773,2051	773,1793	0,0258	0,0044	0,0094
Точка 2	800,4862	800,3915	0,0947	756,1678	756,0731	0,0947	0,0031	0,0026
Точка 3	788,5752	788,5916	-0,0164	744,1944	744,2108	-0,0164	0,0085	0,0064
Точка 4	782,3190	782,1785	0,1405	737,8970	737,7565	0,1405	0,0081	0,0036

измерения высот по завершению измерений. По полученным значениям СКО можно констатировать, что полученные значения высот подходят под классификацию точных измерений.

Анализ параметров базовых линий показал высокую стабильность сети. Среднеквадратическое отклонение (СКО) оставалось на низком уровне, что свидетельствует о высокой точности измерений (таблица 2). Также на каждой из базовых станций разница высот имеет одинаковое значение, что подтверждает их точность определения, а полученная разница – это результаты деформационных процессов земной поверхности.

Значения DOP (Geometric DOP, Vertical DOP) находились в пределах допустимых значений, что подтверждает высокое качество данных. Все базовые линии имеют фиксированные неоднозначности, что свидетельствует о высокой точности измерений (75–90%). Примененные модели позволили минимизировать ошибки, в частности, использование точных эфемерид IGS обеспечило надежность расчетов. Применение четырех спутниковых систем (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou) повысило точность обработки данных. Автоматические модели ионосферы и тропосферы эффективно устранили атмосферные искаже-

ния. Отметки фиксированных точек получены с высокой надежностью ( $CQ\ 3D \leq 5$  мм).

Для верификации применения модели геоида к данной геодезической сети были вычислены превышения между пунктами, полученные в процессе обработки ортометрических и эллипсоидальных высот. Превышения между пунктами показаны в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, превышения между пунктами ортометрических и эллипсоидальных высот имеют различные значения, не систематичные по своему характеру. Различные значения превышений эллипсоидальных и ортометрических высот подтверждают применение модели геоида к данной геодезической сети, учитывающей различия гравиметрических данных на каждой точке по отдельности.

Анализ результатов показал, что спутниковое нивелирование с применением методик Leica Infinity обеспечивает получение точных высот. Данный метод применим для решения инженерных и прикладных задач, однако для получения высокоточных значений отметок высот, применяемых для научных целей, необходимо внесение корректировок в методику производства спутникового нивелирования [6].

Таблица 2

## Значения высот базовых станций и СКО

Кесте 2

## Негізгі станциялардың биіктік мәндері және ОТА

Table 2

## Elevation values of base stations and RMS

Название точки	Ортометрическая высота, м			Эллипсоидальная высота, м			СКО, м	
	1 сеанс	2 сеанс	ΔН	1 сеанс	2 сеанс	ΔН	1 сеанс	2 сеанс
ALA1	745,9632	745,9654	-0,0022	701,1623	701,1645	-0,0022	0,0002	0,0002
KAZGEOKART	833,8476	833,8497	-0,0021	789,5820	789,5842	-0,0022	0,0005	0,0005

Таблица 3

## Вычисленные превышения между пунктами

Кесте 3

## Пункттер арасындағы есептелген биіктік айырмашылықтары

Table 3

## Calculated elevation differences between points

Название точки	Ортометрическая высота, м				Эллипсоидальная высота, м			
	1 сеанс	Δh	2 сеанс	Δh	1 сеанс	Δh	2 сеанс	Δh
Гр. рп. 884	839,2527	21,8121	839,1968	21,7820	795,1158	21,9107	795,0598	21,8805
Точка 1	817,4406		817,4148		773,2051		773,1793	
Точка 2	800,4862	16,9544	800,3915	17,0233	756,1678	17,0373	756,0731	17,1062
		11,9110						
Точка 3	788,5752	6,2562	788,5916	6,4131	744,1944	6,2974	744,2108	6,4543
Точка 4	782,3190		782,1785		737,8970		737,7565	

Среднеквадратические ошибки высотных значений, полученных в процессе обработки, варьируются в диапазоне от 2,5 мм до 8 мм, по полученным значениям СКО видим, что эти значения больше подходят под классификацию точных и технических значений. На получение более точных значений СКО могут повлиять увеличение времени ГНСС наблюдений на пунктах, что подтверждается значениями СКО базовых станций, а также применение альтернативных программных продуктов научного назначения, таких как GAMIT/GLOBK и Bernese, применяющих более усовершенствованные методы расчетов и применения параметров поправок [10].

**Заключение**

Сравнительный анализ показывает, что спутниковое нивелирование имеет ряд преимуществ перед традиционным геометрическим нивелированием, особенно учитывая географию Казахстана с ее большими территориями и различными формами рельефа, зачастую с труднодоступными местами.

Однако, как показывают полученные результаты по итогам исследований, применение выбранного нами метода спутникового нивелирования с использованием глобальной модели геоида позволяет достичь точности, подходящей для работ, не требующих высокой точности, для получения высокоточных результатов отметок высот на территории Республики Казахстан. Важно учитывать вли-

яние квазигеоида – физической формы Земли на определенной территории, которая определяет реальные высоты, а также необходимо увеличение времени наблюдений на пунктах – рассмотреть возможность использования альтернативных программных обеспечений для пост-обработки. В этом контексте разработка и внедрение собственного квазигеоида на территории РК становится актуальной задачей.

Разработка и внедрение собственного квазигеоида на территории Республики Казахстан является важным шагом для повышения точности и надежности спутникового нивелирования, которая позволит лучше учитывать локальные геофизические особенности территории.

Использование спутникового нивелирования в Казахстане открывает новые перспективы в геодезии и геодинамическом мониторинге. Проведенные исследования подтвердили актуальность и большой потенциал этого метода, что делает его перспективным для широкого внедрения в инженерных изысканиях и научных исследованиях.

**Благодарность**

*Данное исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882366 «Разработка модели геоида Республики Казахстан, как основа единой государственной системы координат и высот»).*

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Обиденко В.И., Опритова О.А., Решетов А.П. Разработка методики получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной геоида EGM2008 // Вестник СГУГиТ. 2016. № 1 (33). С. 14–25 (на русском языке)
2. Определение аномалий высот спутниковым методом / Баландин В. Н. [и др.] // Геодезия и картография. 2016. № 2. С. 11–16 (на русском языке)
3. Shin Moon-Seung, Dong-Ha Lee, In-Tae Yang. Определение отклонения вертикальных компонентов с помощью GPS и нивелирных измерений: пример Чунчоена, Канвондо // Журнал промышленных технологий. 2016. Т. 36. С. 65–69 (на английском языке)
4. Взаимная проверка высотных измерений GNSS и высокоточного геометрически-астрономического нивелирования / Hirt C. [и др.] // GPS решения. 2011. Т. 15. (2). С. 149–159 (на английском языке)
5. Влияние методов съемки между GNSS и прямым нивелированием на значения высоты на больших расстояниях в горной местности / Кубодэра Т. [и др.] // Международный журнал по охране окружающей среды и развитию сельских районов. 2016. Т. 7(1). С. 62–69 (на английском языке)
6. Об определении ортометрических высот по модели корректирующей поверхности на основе нивелирных наблюдений, ГНСС и модели геоида / Ким С.К. [и др.] // Журнал прикладной геодезии. 2018. Т. 12 (4). С. 323–333 (на английском языке)
7. Разработка и оценка гравитационной модели Земли 2008 (EGM2008) / Павлис Н.К. [и др.] // Журнал геофизических исследований. 2012. Т. 117 (B04406). С. 1–38 (на английском языке)
8. Odera P.A., Fukuda Y., Kuroishi Y. Высокоразрешающая гравиметрическая модель геоида Японии на основе данных EGM2008 и локальных гравитационных данных // Земля, планеты и космос. 2012. Т. 64. С. 361–368 (на английском языке)
9. Nicolaidis A. GPS и поиск аксионов // Журнал современной физики. 2017. Т. 8. № 8. С. 1470–1477 (на английском языке)
10. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Программа анализа глобальной системы Калмана и GPS: Справочное руководство: Кембридж, Массачусетский технологический институт, 2010. Вып. 10.4. (на английском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Обиденко В.И., Опритова О., Решетов А.П. EGM2008 жаһандық геоидінің көмегімен Новосибирск облысында қалыпты биіктіктерді алу әдістемесін әзірлеу // Сібір мемлекеттік геожүйелер және технологиялар университетінің хабаршысы. 2016. № 1 (33). Б. 14–25 (орыс тілінде)

2. Биіктік ауытқуларын спутниктік әдіспен анықтау / Баландин В.Н. [және т. б.] // Геодезия және картография. 2016. № 2. Б. 11–16 (орыс тілінде)
3. Shin Moon-Seung, Dong-Ha Lee, In-Tae Yang. GPS және нивелирлеу өлшемдерін қолдану арқылы тік құрамдастардың ауытқуын анықтау: Чунчоен, Гангвон-до мысалы // Өнеркәсіптік технологиялар журналы. 2016. Т. 36. Б. 65–69 (ағылшын тілінде)
4. GNSS биіктік өлшемдерін және жоғары дәлдіктегі геометриялық-астрономиялық нивелирлеуді өзара тексеру / Hirt C. [және т. б.] // GPS шешімдері. 2011. Т. 15. (2). Б. 149–159 (ағылшын тілінде)
5. GNSS және тікелей нивелирлеу арасындағы зерттеу әдістерінің таулы аймақтардағы ұзақ қашықтықтағы биіктік мәндеріне әсері / Кубодера Т. [және т. б.] // Қоршаған ортаны қорғау және ауылдық аумақтарды дамыту халықаралық журналы. 2016. Т. 7 (1). Б. 62–69 (ағылшын тілінде)
6. Нивелирлеу бақылауларына, GNSS және геоидтық модельге негізделген түзету бетінің моделін пайдаланып ортометриялық биіктіктерді анықтау туралы / Ким С.К. [және т. б.] // Қолданбалы геодезия журналы. 2018. Т. 12 (4). Б. 323–333 (ағылшын тілінде)
7. Жердің тартылыс моделін әзірлеу және бағалау 2008 (EGM2008) / Павлис Н.К. [және т. б.] // Геофизикалық зерттеулер журналы. 2012. Т. 117 (B04406). Б. 1–38 (ағылшын тілінде)
8. Odera P.A., Fukuda Y., Kuroishi Y. EGM2008 және жергілікті тартылыс деректеріне негізделген жапондық геоидтің жоғары ажыратымдылықтағы гравиметриялық моделі // Жер, планеталар және ғарыш. 2012. Т. 64. Б. 361–368 (ағылшын тілінде)
9. Nicolaidis A. GPS және аксиондарды іздеу // Қазіргі физика журналы. 2017. Т. 8. № 8. Б. 1470–1477 (ағылшын тілінде)
10. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Бағдарлама жаһандық жүйесін және GPS талдау бағдарламасы: Анықтамалық нұсқаулық: Кембридж, Массачусетс технологиялық институты, 2010. Шығ. 10.4 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Obidenko V.I., Opritova O.A., Reshetov A.P. Razrabotka metodiki polucheniya normal'nykh vysot na territorii Novosibirskoi oblasti s ispol'zovaniem global'noi geoida EGM2008 [Development of a methodology for obtaining normal heights in the Novosibirsk region using the global geoid EGM2008], Vestnik SGUGiT [Bulletin of SSUGT]. 2016. No. 1 (33). 14–25 pp. (in Russian)
2. Opredelenie anomalii vysot sputnikovym metodom [Definition of altitude anomalies using the Sputnik method], Balandin V.N. [and others], Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]. 2016. No. 2. 11–16 pp. (in Russian)
3. Shin Moon-Seung, Dong-Ha Lee, In-Tae Yang. Determination of the deflection of vertical components via GPS and leveling measurement: A Case Study of Chunchoen, Gangwon-do // Journal of Industrial Technology. 2016. V. 36. 65–69 pp. (in English)
4. Mutual validation of GNSS height measurements and high-precision geometric-astronomical levelling / Hirt C. [et al.] // GPS solutions. V. 15. Issue 2 (2011). 149–159 pp. (in English)
5. Effects of Surveying Methods between GNSS and Direct Leveling on Elevation Values over Long Distance in Mountainous Area / Kubodera T. [et al.] // International Journal of Environmental and Rural Development. 2016. V. 7 (1). 62–69 pp. (in English)
6. On determining orthometric heights from a corrector surface model based on leveling observations, GNSS, and a geoid model / Kim S.K. [et al.] // Journal of Applied Geodesy. 2018. V. 12 (4). 323–333 pp. (in English)
7. The Development and Evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) / Pavlis N.K. [et al.] // Journal of Geophysical Research. 2012. V. 117 (B04406). 1–38 (in English)
8. Odera P.A., Fukuda Y., Kuroishi Y. A high-resolution gravimetric geoid model for Japan from EGM2008 and local gravity data // Earth, planets and space. 2012. V. 64. 361–368 pp. (in English)
9. Nicolaidis A. GPS and the Search for Axions // Journal of Modern Physics. 2017. V. 8. No. 8. 1470–1477 pp. (на английском языке)
10. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program: Reference Manual: Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, 2010. Release 10.4. (на английском языке)

## Сведения об авторах:

**Касымканова Х.М.**, д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [k.Kassymkanova@satbayev.university](mailto:k.Kassymkanova@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-9590-2079>

**Кенбаев Р.А.**, руководитель службы делимитации и демаркации государственной границы РГП на ПХВ «Национальный центр геодезии и пространственной информации» (г. Астана, Казахстан), [Almaskenbayev@gmail.com](mailto:Almaskenbayev@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0004-6081-1611>

**Ахметов Р.**, докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [rustemahmetov@mail.ru](mailto:rustemahmetov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0677-6307>

**Ибраимова А.**, гл. менеджер отдела бюджетных проектов КазННТУ им. К.И. Сатпаева, [a.ibraimova@satbayev.university](mailto:a.ibraimova@satbayev.university); <https://orcid.org/0009-0005-7539-8273>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Касымканова Х.М.**, т.ғ.д., Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Кенбаев Р.А.**, мемлекеттік шекараны делимитациялау және демаркациялау қызметінің бастығы «Ұлттық геодезия және кеңістіктік ақпарат орталығы» (Астана қ., Қазақстан),

**Ахметов Р.**, Satbayev University О.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

**Ибраимова А.**, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ бюджеттік жобалар бөлімінің бас менеджері (Алматы қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Kassymkanova Kh.M.**, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikunurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Kenbaev A.A.**, Head of the State Border Delimitation and Demarcation Service «National Center of Geodesy and Spatial Information» (Astana, Kazakhstan)

**Akhmetov R.**, Ph.D student at the Department of Mine Surveying and Geodesy, of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikunurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Ibraimova A.**, Chief Manager of the Budget Projects Department of K.I. Satpayev KazNTU (Almaty, Kazakhstan)

ДЕСЯТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

# SEYMARTEC DIGITAL

ЧЕЛЯБИНСК  
ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»

25-27  
НОЯБРЯ

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ  
В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ  
ОТРАСЛИ



[seymartec.ru](http://seymartec.ru)



+7 499 638-23-29



[info@seymartec.ru](mailto:info@seymartec.ru)