

**ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ (ПО ОБЛАСТЯМ И УРОВНЯМ ОБРАЗОВАНИЯ) /
THEORY AND METHODS OF TEACHING AND UPBRINGING (BY AREAS AND LEVELS OF EDUCATION)**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46>

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ
ЗЕМЛИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ**

Научная статья

Ганагина И.Г.^{1,*}, Зверев И.В.²

¹ ORCID : 0000-0002-8543-8276;

^{1,2} Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gam0209[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье представлены результаты использования данных о гравитационном поле Земли (ГПЗ), находящихся в открытом доступе, для обновления исходных материалов лабораторных работ на основе современных технологий. Современные ресурсы позволяют моделировать исходную информацию для решения задач физической геодезии, выполнять эксперименты, интерпретировать и анализировать полученные результаты. Авторами продемонстрирована возможность создания экспериментальной образовательной базы ежегодного формирования исходных данных для выполнения лабораторных работ обучающимися и сравнения полученных результатов характеристик ГПЗ на сайте международного научно-исследовательского центра наук о Земле – International Center for Global Gravity Field Models (ICGEM). В работе представлена технология получения и использования необходимых характеристик ГПЗ по данным глобальных моделей геопотенциала на примере выполнения лабораторных работ по дисциплине гравиметрия.

Ключевые слова: современные технологии образования, моделирование данных, ресурсы открытого доступа, гравитационное поле Земли.

**MODERN TECHNOLOGIES FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF THE EARTH'S
GRAVITATIONAL FIELD FOR ESTABLISHING AN EXPERIMENTAL EDUCATIONAL BASIS**

Research article

Ganagina I.G.^{1,*}, Zverev I.V.²

¹ ORCID : 0000-0002-8543-8276;

^{1,2} Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* Corresponding author (gam0209[at]yandex.ru)

Abstract

The article presents the results of using publicly available data on the Earth's gravitational field (EGF) to update the source materials of laboratory works based on modern technologies. Modern resources allow modelling source data for solving physical geodesy problems, performing experiments, interpreting and analysing obtained results. The authors have demonstrated the possibility of creating an experimental educational basis for the annual formation of raw data for laboratory works by students and comparison of the results obtained with the characteristics of EGF on the website of the International Center for Global Gravity Field Models (ICGEM), an international scientific research centre for earth sciences. This work presents the technology of obtaining and using the necessary characteristics of EGF from the data of global geopotential models on the example of laboratory work in the discipline of gravimetry.

Keywords: modern educational technologies, data modelling, open access resources, Earth's gravitational field.

Введение

Современные технологии определения характеристик гравитационного поля Земли (ГПЗ) позволяют решать фундаментальные и прикладные научные и производственные задачи. Технологии базируются на научных достижениях в области применения результатов космической деятельности и выступают инструментом для реализации новых практических решений в различных отраслях экономики государства [1], [2]. Использование результатов современных технологических решений в образовательном процессе позволяют перейти на качественно новый уровень обучения при подготовке выпускников [3], [4], [5].

Изучение внешнего гравитационного поля Земли (ГПЗ), определение его характеристик является неотъемлемой составляющей основной задачи геодезии. Студенты по направлению подготовки Геодезия и дистанционное зондирование, профиль «Геодезия» начинают свое знакомство с гравитационной составляющей решения фундаментальных и прикладных научных задач геодезии с изучения дисциплины гравиметрия.

В настоящее время для измерения ускорения силы тяжести (ускорения свободного падения) разработаны современные высокоточные относительные и абсолютные гравиметры, совершенствуются способы и методы получения гравиметрической информации [6]. На кафедре космической и физической геодезии СГУГиТ имеются отечественные и зарубежные относительные гравиметры, позволяющие измерять приращения силы тяжести с микрогальной точностью. При изучении дисциплины предусмотрено знакомство с аппаратурой, выполнение измерений в гравиметрическом рейсе, его обработка и получение аномалий силы тяжести. Студенты изучают основные виды гравиметрических работ. Результатом гравиметрических съемок с аппаратурой является гравиметрическая карта. Освоение методики создания гравиметрической карты возможно при наличии результатов

площадной съемки и данных ее топографо-геодезического обеспечения. Реальные гравиметрические измерения являются закрытой информацией. Поэтому для качественной подготовки специалистов, способных решать задачи геодезической гравиметрии, авторами предлагается использовать модельные данные – современные разработки по созданию глобальных моделей ГПЗ.

Цель данной работы – продемонстрировать возможность использования современных технологий определения характеристик гравитационного поля Земли для создания экспериментальной образовательной базы.

Методы и принципы исследования

Исходной информацией для создания экспериментальной образовательной базы геопространственных данных служат материалы, представленные на сайте международного научного-исследовательского центра наук о Земле – International Center for Global Gravity Field Models (ICGEM) [7]. На сайте ICGEM в открытом доступе находятся глобальные модели гравитационного поля Земли в виде коэффициентов разложения геопотенциала и калькулятор, позволяющий вычислять характеристики ГПЗ на исследуемую территорию.

Возможности веб-службы ICGEM позволяют определять характеристики ГПЗ по данным глобальных моделей геопотенциала либо в узлах регулярных сеток либо в точках, заданных пользователем. Пользовательский интерфейс калькулятора для вычисления характеристик гравитационного поля Земли состоит из нескольких блоков (см. рисунок 1).

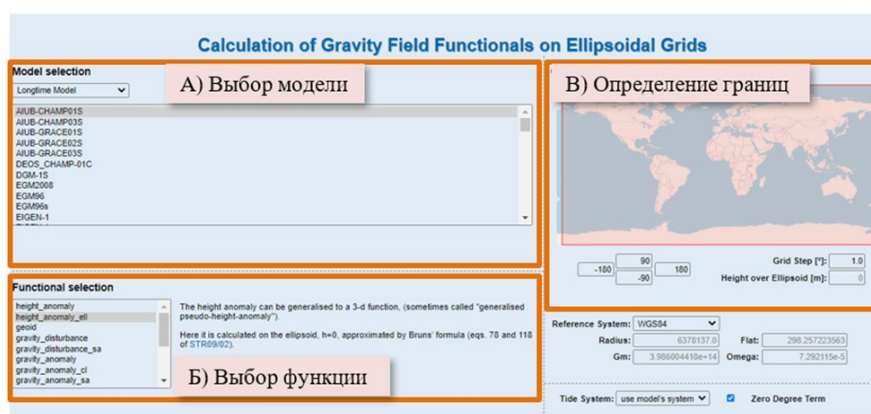


Рисунок 1 - Пользовательский интерфейс калькулятора для вычисления характеристик гравитационного поля Земли

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.1>

Примечание: по ист. [7]

Для вычисления характеристик ГПЗ в узлах регулярной сетки необходимо:

- выбрать модель геопотенциала (блок А);
- выбрать расчетный функционал – характеристику ГПЗ (блок Б);
- определить границы исследуемой территории, ограниченной по широте и долготе (блок В).

По запросу пользователя можно вычислить:

- смешанные аномалии силы тяжести;
- аномалии высоты;
- высоты геоида с учетом данных о топографии на исследуемую территорию;
- аномалии силы тяжести Буге;
- силу тяжести на поверхности Земли (включая центробежное ускорение);
- вторые производные по направлению сферического радиуса и др.

Результаты вычисления можно получить в табличном виде (см. рисунок 2), а визуализацию результатов вычисления – в виде картосхем (см. рисунок 3).

На рисунке 2 представлен фрагмент файла результатов вычисления характеристик ГПЗ, полученный в ходе моделирования. В таблице представлены геодезические координаты: широта (longitude) и долгота (longitude), высота над геоидом (height over geoid) и ускорение силы тяжести (gravity earth).

end_of_head	longitude [deg.]	latitude [deg.]	h_over_geoid [meter]	gravity_earth [mgal]
	74.8900	57.4600	136.16	981664.248324471526
	75.8900	57.4600	135.32	981667.963109522243
	76.8900	57.4600	130.04	981665.944591526524
	77.8900	57.4600	134.84	981651.922564824461
	78.8900	57.4600	133.84	981649.966500004288
	79.8900	57.4600	136.24	981657.338002424804
	80.8900	57.4600	114.00	981671.726367102354
	81.8900	57.4600	82.24	981676.609782484593
	82.8900	57.4600	88.96	981667.645945633762
	83.8900	57.4600	81.36	981667.332783526857
	84.8900	57.4600	160.12	981630.376367417048
	74.8900	56.4600	66.52	981608.467110693222
	75.8900	56.4600	104.24	981578.789029693347
	76.8900	56.4600	121.92	981581.897471367847
	77.8900	56.4600	128.00	981554.353745234548
	78.8900	56.4600	132.76	981578.206455727573
	79.8900	56.4600	130.76	981579.132617519121
	80.8900	56.4600	144.00	981570.065531808883
	81.8900	56.4600	146.12	981571.279292748310

Рисунок 2 - Результаты вычисления характеристик ГПЗ в табличном виде
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.2>

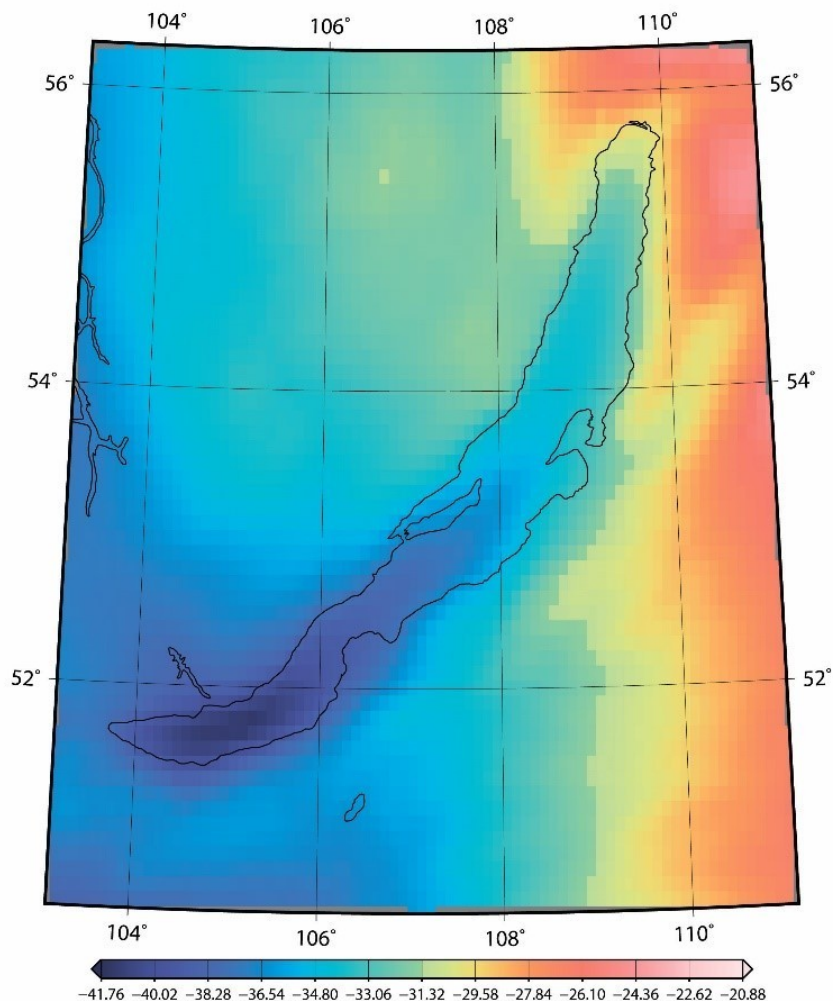


Рисунок 3 - Визуализация результатов вычисления характеристик ГПЗ в виде картосхемы
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.3>

Основными методами исследования являются численный эксперимент и моделирование характеристик ГПЗ на заданную территорию по алгоритмам, представленным на сайте ICGEM [8], [9].

Основные результаты

Использование современных технологий определения характеристик гравитационного поля Земли позволяет создать набор вариантов исходных данных для выполнения экспериментальных исследований в лабораторной работе по дисциплине «Гравиметрия».

Целью лабораторной работы является освоение методики построения гравиметрических карт аномалий силы тяжести с редуками в свободном воздухе и Буге.

Содержание работы включает вычисление аномалий силы тяжести с редуцией в свободном воздухе для 25 гравиметрических пунктов, расположенных в узлах регулярной сетки по широте и долготе. По вычисленным значениям построить гравиметрические карты аномалий силы тяжести с редуцией в свободном воздухе.

На рисунке 4 представлена схема выполнения лабораторной работы традиционным методом и с использованием открытых электронных ресурсов.



Рисунок 4 - Схема выполнения лабораторной работы
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.4>

Последовательность выполнения поставленной задачи при использовании возможностей современных технологий получения характеристик ГПЗ:

– моделирование исходных данных на исследуемую территорию. В результате моделирования сформирована база экспериментальных данных, состоящая из координат пунктов и абсолютных значений силы тяжести для любого участка земной поверхности (см.рис.2);

– вычисление нормального значения силы тяжести на поверхности эллипсоида по формуле [10]

$$\gamma_0 = 978030 \left(1 + 5.302 \cdot 10^{-3} \sin^2 \varphi - 7 \cdot 10^{-6} \sin^2 2\varphi \right) - 14 \text{ мГал}$$

где φ – широта места наблюдения;

– вычисление аномалии силы тяжести с редуцией в свободном воздухе по формуле [10]

$$\Delta g_{\text{св.}} = g - (\gamma_0 + \delta g_1)$$

где δg_1 – поправка за высоту точки H над уровнем моря, вычисленная по формуле

$$\delta g_1 = -0,30855(1 + 0.00071 \cos 2\varphi)H^y$$

– построение гравиметрической карты аномалий силы тяжести с редуцией в свободном воздухе с помощью пакета машинной графики (см. рисунок 5) [11];

– вычисление аномалий силы тяжести с редуцией в свободном воздухе с помощью веб-сайта ICGEM [7];

– визуализация результатов вычислений аномалий силы тяжести с редуцией в свободном воздухе, полученных с помощью калькулятора (см. рисунок 6);

– критический анализ полученных результатов, на основании которого обучающиеся делают выводы и дают рекомендации.

Использование современных технологий определения характеристик ГПЗ на основе данных глобальных моделей геопотенциала, представленных в открытом доступе, позволяет создать базу экспериментальных данных для выполнения лабораторных работ, познакомиться с передовым международным опытом решения задач в области исследования гравитационного поля глобального и регионального характера, выявить особенности методов вычисления трансформант ГПЗ в разных странах.

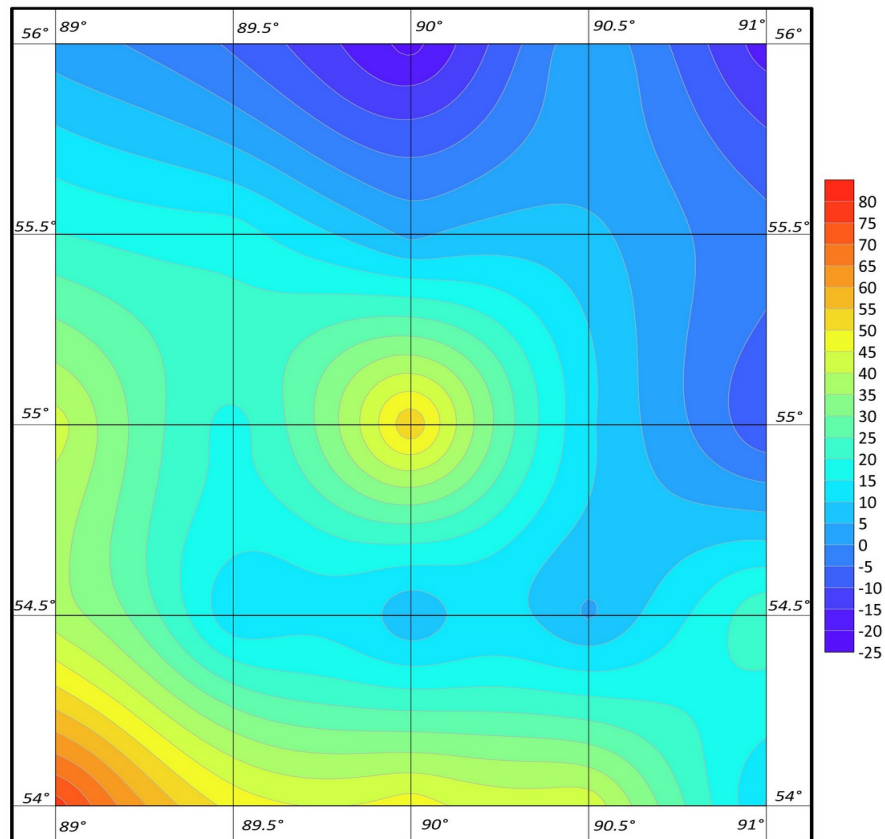


Рисунок 5 - Гравиметрическая карта аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе, созданная с помощью пакета машинной графики
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.5>

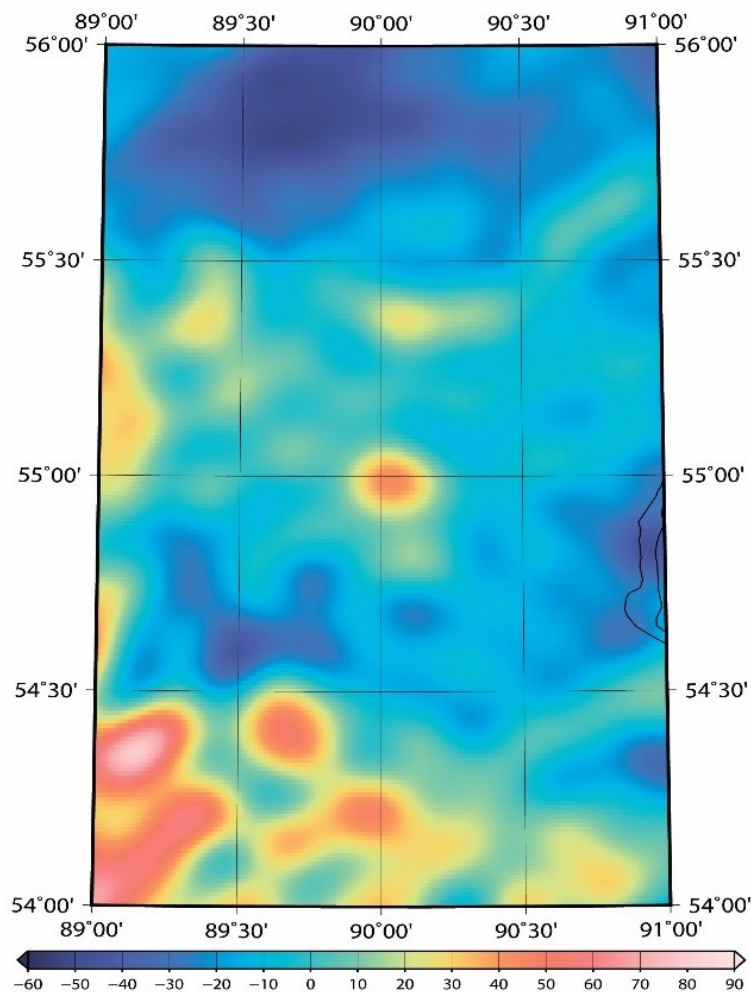


Рисунок 6 - Визуализация результатов вычислений аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе с помощью калькулятора

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.6>

Обсуждение

Использование современных технологий определения характеристик ГПЗ не может заменить практическое освоение обучающимися традиционных методик обработки гравиметрической информации, но позволяет сформировать у будущих выпускников необходимые компетенции для решения задач эффективного использования результатов космической деятельности в интересах государства. Возможность получения из открытых источников массивов исходной информации о ГПЗ послужит руководством для будущих исследований [12].

Заключение

Современные технологии определения характеристик гравитационного поля Земли позволяют создать широкие возможности для выполнения лабораторных работ, дополняя учебный процесс результатами международной научно-исследовательской деятельности, представленными в открытом доступе, и повышая качество подготовки будущего выпускника.

Открытые источники с данными о гравитационном поле Земли – современный инструмент наук о Земле, позволяющий студенту проявлять инициативу и самостоятельность в процессе экспериментальных исследований. Обучающиеся приобретают навыки критического мышления, умения ориентироваться в потоках разнородной информации, анализировать исходные данные и интерпретировать получаемые результаты.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Гордеева И.В., Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.7>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Gordeeva I.V., Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.46.7>

Список литературы / References

1. Российская Федерация. Законы. О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон: [от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ]. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191496/ (дата обращения: 23.03.2023).
2. Основы государственной политики в области использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития её регионов на период до 2030 года. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/560853771> (дата обращения: 26.03.2023).
3. Хеннер Е.К. Информационные технологии в образовании. Теоретический обзор / Е.К. Хеннер. — Пермь, 2022. — 110 р. — URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnieposobiya/informacionnye-tehnologii-v-obrazovanii.pdf>. (дата обращения: 23.03.2023).
4. Киселев Г.М. Информационные технологии в педагогическом образовании / Г.М. Киселев, Р.В. Бочкова. — М.: Дашков и К°, 2014. — 304 с.
5. Фабрикантова Е.В. Современные информационные технологии в образовании / Е.В. Фабрикантова. — Оренбург: Издательство ОГПУ, 2017. — 84 с.
6. Пешехонов В.Г. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / В.Г. Пешехонов, О.А. Степанов, Л.И. Августов [и др.] — Санкт-Петербург: Жилэлектроприбор, 2017. — 390 с.
7. International Centre for Global Earth Models (ICGEM) — URL: <http://icgem.gfz-potsdam.de/home> (accessed: 26.03.2023).
8. International Association of Geodesy a Constituent Association of IUGG — URL: https://iag-aig.org/doc/GH2020/507_ICGEM.pdf (accessed: 26.03.2023).
9. The theory and formulas used by the calculation service of the ICGEM are described in the Scientific Technical Report STR09/02. — URL: <http://icgem.gfz-potsdam.de/theory> (accessed: 26.03.2023). — DOI: 10.2312/GFZ.b103-0902-26.
10. Инструкция по гравиразведке. — М.: Недра, 1980. — 80 с.
11. Кузьмин В.И. Гравиметрия / В.И. Кузьмин. — Новосибирск: СГГА, 2011. — 193 с.
12. Канушин В.Ф. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли / В.Ф. Канушин, А.П. Карпик, И.Г. Ганагина [и др.] — 2015. — 270 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rossijskaja Federacija. Zakony. O geodezii, kartografii i prostranstvennyh dannyh i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii [Russian Federation. Laws. On Geodesy, Cartography and Spatial Data and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation]: federal law: [of December 30, 2015 N 431-FL]. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191496/ (accessed: 23.03.2023). [in Russian]
2. Osnovy gosudarstvennoj politiki v oblasti ispol'zovanija rezul'tatov kosmicheskoj dejatel'nosti v interesah modernizacii jekonomiki Rossijskoj Federacii i razvitija ee regionov na period do 2030 goda [Fundamentals of state policy in the field of using the results of space activities in the interests of modernization of the economy of the Russian Federation and the development of its regions for the period up to 2030]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/560853771> (accessed: 26.03.2023). [in Russian]
3. Henner E.K. Informacionnye tehnologii v obrazovanii. Teoreticheskij obzor [Information Technologies in Education. Theoretical overview] / E.K. Henner. — Perm', 2022. — 110 p. — URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnieposobiya/informacionnye-tehnologii-v-obrazovanii.pdf>. (accessed: 23.03.2023). [in Russian]
4. Kiselev G.M. Informacionnye tehnologii v pedagogicheskom obrazovanii [Information Technologies in Teacher Education] / G.M. Kiselev, R.V. Bochkova. — M.: Dashkov i K°, 2014. — 304 p. [in Russian]
5. Fabrikantova E.V. Sovremennye informacionnye tehnologii v obrazovanii [Modern Information Technologies in Education] / E.V. Fabrikantova. — Orenburg: OGPU Publishing House, 2017. — 84 p. [in Russian]
6. Peshehonov V.G. Sovremennye metody i sredstva izmerenija parametrov gravitacionnogo polja Zemli [Modern Methods and Tools for Measuring the Parameters of the Earth's Gravitational Field] / V.G. Peshehonov, O.A. Stepanov, L.I. Avgustov [et al.] — Saint-Petersburg: Jelektropribor, 2017. — 390 p. [in Russian]
7. International Centre for Global Earth Models (ICGEM) — URL: <http://icgem.gfz-potsdam.de/home> (accessed: 26.03.2023).
8. International Association of Geodesy a Constituent Association of IUGG — URL: https://iag-aig.org/doc/GH2020/507_ICGEM.pdf (accessed: 26.03.2023).
9. The theory and formulas used by the calculation service of the ICGEM are described in the Scientific Technical Report STR09/02. — URL: <http://icgem.gfz-potsdam.de/theory> (accessed: 26.03.2023). — DOI: 10.2312/GFZ.b103-0902-26.
10. Instrukcija po gravirazvedke [Instructions for gravity survey]. — M.: Nedra, 1980. — 80 p. [in Russian]
11. Kuz'min V.I. Gravimetrija [Gravimetry] / V.I. Kuz'min. — Novosibirsk: SGGGA, 2011. — 193 p. [in Russian]
12. Kanushin V.F. Issledovanie sovremennyh global'nyh modelej gravitacionnogo polja Zemli [The Study of Modern Global Models of the Earth's Gravitational Field] / V.F. Kanushin, A.P. Karpik, I.G. Ganagina, [et al.] — 2015. — 270 p. [in Russian]