

Научная статья
УДК 55, 550.312
DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-4-25-32

Определение средней плотности пород промежуточного слоя способом наименьшей корреляции аномалии силы тяжести с рельефом местности (на примере Восточного Забайкалья)

Роман Викторович Груздев

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия
roguzdev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1748-864X>

Информация о статье:

Статья поступила
в редакцию 04.03.2023

Одобрена после
рецензирования 27.10.2023

Принята к публикации
29.10.2023

Ключевые слова:

гравиразведка, поправка за промежуточный слой, плотность пород, аномалии силы тяжести, корреляция, рельеф местности, способ Нептлетона, редукции Буге, цифровые модели, моделирование

Определение плотности промежуточного слоя является необходимой процедурой при обработке и интерпретации гравиметрических данных. По мнению автора, изучение взаимосвязи между плотностью горных пород, рельефом и гравитационными аномалиями позволяет приблизиться к наиболее точному определению средней плотности горных пород промежуточного слоя. От выбранной методики подбора плотности промежуточного слоя зависит не только затраченное время на обработку материалов съёмки, но и качество геологической интерпретации. Поэтому поиск оптимальных алгоритмов определения средней плотности пород, слагающих промежуточный слой, представляет интерес для гравиразведки и является актуальным направлением в высокоточной съёмке. Объектом исследования выступают цифровые модели аномалии силы тяжести в редукции Буге, рассчитанные с разной плотностью промежуточного слоя. Предметом исследования – изучение закономерностей и корреляционных связей между аномалиями силы тяжести, вычисленных с разной плотностью и морфологией рельефа местности. Целью исследования является уточнение средней плотности пород промежуточного слоя в редукции Буге. В статье рассматриваются фактические материалы, полученные в ходе полевых высокоточных гравиразведочных работ на одном из геологоразведочных объектов Восточного Забайкалья. Описывается методика обработки гравиметрических данных при вычислении аномалии Буге в условном гравиметрическом уровне. Сопоставлены результаты вычисления аномалий силы тяжести с разной плотностью промежуточного слоя, приведена статистика, проанализированы их количественные показатели. Построены цифровые матрицы (гриды) расчётных параметров. Результаты исследования наглядно иллюстрированы. Степень проработанности исследования указывает на ряд нерешённых вопросов, которые в некоторой мере раскрыты автором в результате проведённых расчётов и анализа цифровых гридов, графиков и прочих данных, участвующих в вычислениях поправок за рельеф. Автором сделаны выводы и представлена рекомендация к применению методики определения средней плотности пород промежуточного слоя.

Original article

Determination of the Average Density of Rocks of the Intermediate Layer by the Method of the Least Correlation of the Gravity Anomaly with the Terrain (on the Example of Eastern Transbaikalia)

Roman V. Gruzdev

Transbaikal State University, Chita, Russia
roguzdev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1748-864X>

Information about the article:

Received 4 March, 2023

Approved after review
27 October, 2023

Accepted for publication
29 October, 2023

Determining the density of the intermediate layer is a necessary procedure when processing and interpreting gravimetric data. According to the author, studying the relationship between rock density, relief and gravity anomalies allows us to get closer to the most accurate determination of the average density of rocks in the intermediate layer. Not only the time spent processing survey materials, but also the quality of the geological interpretation depends on the chosen technique for selecting the density of the intermediate layer. Therefore, the search for optimal algorithms for determining the average density of rocks composing the intermediate layer is of interest for gravity

Keywords:

gravitational exploration, correction for intermediate layer, rock density, gravity anomalies, correlation, terrain, Nettleton method, reduction of Bouguer, digital models, modeling

Введение. При вычислении аномалий силы тяжести нередко возникает вопрос об определении истинной или наиболее адекватной средней плотности пород, слагающих промежуточный слой. В редукции Буге поправка за промежуточный слой учитывает притяжение пород, заключенных между физической поверхностью измерения силы тяжести и уровнем моря в предположении, что этот слой состоит из пород постоянной плотности и является горизонтальным, бесконечным и плоскопараллельным. Поскольку реальное значение плотности пород промежуточного слоя, является неизвестным, то наиболее простым решением для её уточнения является подбор в некотором интервале, например, от 2,30–2,70 г/см³. Если эта плотность сильно уменьшена по сравнению со средней плотностью пород промежуточного слоя, то аномалии Буге имеют положительную корреляцию с поведением рельефа. При завышенном значении корреляция отрицательна. При «правильном» выборе плотности промежуточного слоя корреляция между аномалией Буге и рельефом местности не наблюдается. Это свойство аномалий Буге используется для определения плотности пород промежуточного слоя в способе Неттлетона. Кроме указанного способа, к статистическим методам определения плотности промежуточного слоя относятся способ обратных вероятностей, наибольшего правдоподобия и др. [1; 2; 9; 10; 13; 14]. К аналитическим методам относятся точечный и конечно-разностный [10]. К недостаткам указанных подходов следует отнести, то что вычисления чаще выполняются для одного или нескольких профилей в пределах конкретных аномалий силы тяжести, при этом одновременно

exploration and is a relevant direction in high-precision surveying. The object of the study is digital models of anomalies of gravity in the Bug reduction, calculated with different density of the intermediate layer. The subject of the study is the research of patterns and correlation relationships between anomalies of gravity, calculated with different density and morphology of the terrain. The purpose of the study is to clarify the average density of the intermediate layer rocks in the Buge reduction. The article considers the actual materials obtained during high-precision field gravel exploration at one of the geological exploration facilities in Eastern Transbaikalia. The procedure for processing gravimetric data when calculating the Bug anomaly at a conditional gravimetric level is described. The results of calculating gravity anomalies with different density of the intermediate layer are compared, statistics is given, and their quantitative indicators are analyzed. Digital matrices (grids) of design parameters are built. The results of the study are clearly illustrated. The level of study elaboration indicates a number of unresolved issues that are somewhat revealed by the author as a result of the calculations and analysis of digital grids, graphs and other data involved in the calculations of terrain corrections. The author has made conclusions and presented a recommendation for the use of a method for determining the average density of intermediate layer rocks.

весь массив данных не анализируется. К самостоятельному направлению определения плотности пород, слагающих промежуточный слой, можно отнести методы 2D и 3D моделирования [6; 10]. Однако указанные методы для ручной обработки являются трудоёмкими, а при машинном подходе требуют наличие специализированных программ.

По мнению автора, одним из наиболее рациональных методов уточнения средней плотности пород, слагающих промежуточный слой, является исследование корреляционных связей между матрицами (гридами) рельефа местности и аномалиями силы тяжести, рассчитанными для набора исследуемых плотностей. При таком подходе исследование корреляционных связей происходит одновременно для всего массива гравиметрических данных.

Таким образом, уточнение плотности промежуточного слоя способом наименьшей корреляции между аномалиями силы тяжести и рельефом местности при обработке данных высокоточных гравиразведочных работ на геологоразведочных объектах Восточного Забайкалья является актуальной нвучной задачей. Представленный в работе алгоритм обработки является некоторым доработанным аналогом способа Неттлетона.

Актуальность данного исследования также обусловлена тем, что на основе фактического полевого материала гравиразведочных работ необходимо сделать расчёты, которые позволяют уточнить среднюю плотность промежуточного слоя для всей территории исследования на основе изучения корреляционных связей аномалии силы тяжести с рельефом местности. Кроме того, по мнению автора, полученные результаты позволят повысить

общую точность обработки материалов гравиразведочных работ. Также заслуживает внимания то, что данная методика вычислений может быть достаточно оперативной, для массива данных от 5–20 тыс. физических точек, на выполнение расчётов может уйти значительно меньше времени.

Объектом исследования выступают цифровые модели аномалий силы тяжести в редукции Буге, рассчитанные с разной плотностью промежуточного слоя. **Предмет исследования** – изучение закономерностей и корреляционных связей между аномалиями силы тяжести, вычисленных с разной плотностью и морфологией рельефа местности.

Целью данного исследования является уточнение средней плотности пород промежуточного слоя в редукции Буге.

Задачи исследования: 1) выполнить расчёт аномалий силы тяжести в редукции Буге для каждой исследуемой плотности; 2) сопоставить результаты расчётов аномалий силы тяжести каждой исследуемой плотности с формами рельефа местности; 3) показать корреляционные связи аномалий силы тяжести (с разной плотностью промежуточного слоя) с морфологией рельефа местности; 4) проанализировать результаты проведённого исследования; 5) привести рекомендации для определения плотности промежуточного слоя.

Методология данного исследования основана на практических и теоретических методах. В работе приведены данные полевых работ с высокоточными гравиметрами марок CG-5 и CG-6, выполненных согласно методическим указаниям инструкции по гравиразведке¹. Обработка гравиметрических материалов выполнена по традиционной методике в модуле Gravity (Geosoft Oasis Montaj™)², а также с учётом собственного опыта и наработок по данной теме [3; 4].

Полученные результаты определения плотности промежуточного слоя должным образом сопоставлены и проанализированы. Результаты исследования наглядно продемонстрированы на рисунках и в итоговых таблицах, что свидетельствует о достоверности проведённого исследования.

На сегодняшний день степень *проработанности исследования* указывает на ряд нерешённых вопросов [7; 10]. К таким отно-

сится то, что элементарно отсутствует строящая технология определения истинной плотности промежуточного слоя, а также не до конца изучен вопрос о значимости определения этой редукции с переменной плотностью. Использование истинных значений плотности промежуточного слоя, определяемого путём гидростатического взвешивания образцов пород или по результатам скважинных исследований, является затруднительным, а чаще невозможным ввиду отсутствия этих данных. Вместе с тем, дискуссия о необходимости введения поправки за промежуточный слой и его параметрах в гравиметрической литературе имеет длительную историю полную противоречивых точек зрения [5; 7–9; 15]. Поэтому исследования в этом направлении актуальны и вносят определённый вклад в разработку технологий, позволяющих повышать точность при учёте поправок в редукции Буге.

Материалы и методы исследования.

В рамках программы геологоразведочных работ на 2022 г. на одном из объектов в Восточном Забайкалье проведены высокоточные гравиметрические исследования в масштабе 1:10 000. Участок работ расположен в низкорельефной местности с высотой над уровнем моря 700–1 100 м, рельеф сильно расчленён, большинство форм рельефа представлено комплексом долин, окруженных холмами с крутыми склонами до 30 °С с развитыми осыпными процессами. Территория расположена в таёжной зоне, 80 % которой покрыто древесной и кустарниковой растительностью. Площадь съёмки составила около 35 км².

Полевые измерения проведены высокоточными гравиметрами класса А, марок CG-5 и CG-6 [11; 12] по сети наблюдения 100×50 м в количестве около 6922 физических точек. Среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых значений аномалии силы тяжести ±0,015 мГал. Геодезическое сопровождение осуществлялось с помощью ГНСС-приёмников марки Topcon GR-5, в соответствии с инструкцией по развитию съёмочного обоснования с применением глобальных навигационных спутниковых систем³. Погрешность планового определения координат пунктов составила ±0,28 м, высотного положения ±0,045 м. Полный цикл обра-

³ Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъёмки и картографии: Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – М., 2002. – 124 с. – URL: <https://www.np-ciz.ru/userfiles/02-262-02.pdf> (дата обращения: 21.06.2023). – Текст: электронный.

¹ Министерство геологии СССР: Инструкция по гравиразведке. – Л.: Недра, 1980. – 89 с.

² Whitehead N. Users Guide to the Oasis Montaj 7.2 program: a tutorial. – Canada, Toronto, 2012. – 104 p.

ботки результатов съёмки, в том числе учёт поправок за влияния рельефа местности, выполнен в программе Geosoft Oasis Montaj™. Алгоритм вычисления редукций Буге отмечен в публикациях автора [3; 4].

Краткая геологическая характеристика участка работ. Участок работ характеризуется сложным геологическим строением с широким распространением разновозрастных и различных по составу осадочных пород, и в меньшей степени магматических образований. Стратиграфический разрез площади представлен терригенно-осадочными отложениями нижнего и среднего палеозоя, осадочно-вулканогенными отложениями юры и рыхлыми осадками кайнозойского возраста. Интрузивные образования на территории работ слагают два интрузивных комплекса. К наиболее древним относятся габброиды ранней перми. В мезозойское время тектономагматическая активность на территории сопровождалась внедрением гранитоидов среднепоздней юры, завершающий этап активизации отмечен интенсивным внедрением даек гранит-порфиров и диоритовых-порфиритов.

Диаграмма распространения пород на участке работ и их объёмная масса, определённая путём гидростатического взвешивания образцов керна и штучного опробования, представлена на рис. 1.

Таким образом, на участке работ наблюдается дифференцированный по плотности геологический разрез, где наибольшее распространение имеют юрские отложения (около 46%), представленные переслаиванием песчаников и алевролитов.

Определение плотности промежуточного слоя. Для вычисления средней плотности пород, слагающих промежуточный слой, автор предлагает использовать статистический способ исследования корреляционных связей некоторого набора матриц аномалий силы тяжести с матрицей рельефа местности. Данный подход аналогичен способу Неттлетона, однако в предложенном варианте обработки, изучение корреляционных связей выполняется не только по отдельно выбранным линиям профилей с сильно расчленённым рельефом, а по всему массиву данных (по гридам).

Первичная обработка гравиметрических данных выполнена по традиционной методике. Аномалии силы тяжести в редукции Буге вычислялись с разной плотностью промежуточного слоя в интервале 2,30–2,70 т/м³

с шагом 0,05 т/м³, при этом поправка за рельеф рассчитывалась отдельно для каждой выбранной плотности. Далее вычислялась локальная составляющая аномалии силы тяжести, после выполнялся корреляционный анализ между набором локальных аномалий силы тяжести и рельефом местности. Для интервала с наименьшей корреляцией производится повторные вычисления через 0,01 т/м³. Все расчёты для плотностных наборов данных в интервале 2,30–2,70 т/м³ полностью идентичны, менялась только плотность промежуточного слоя.

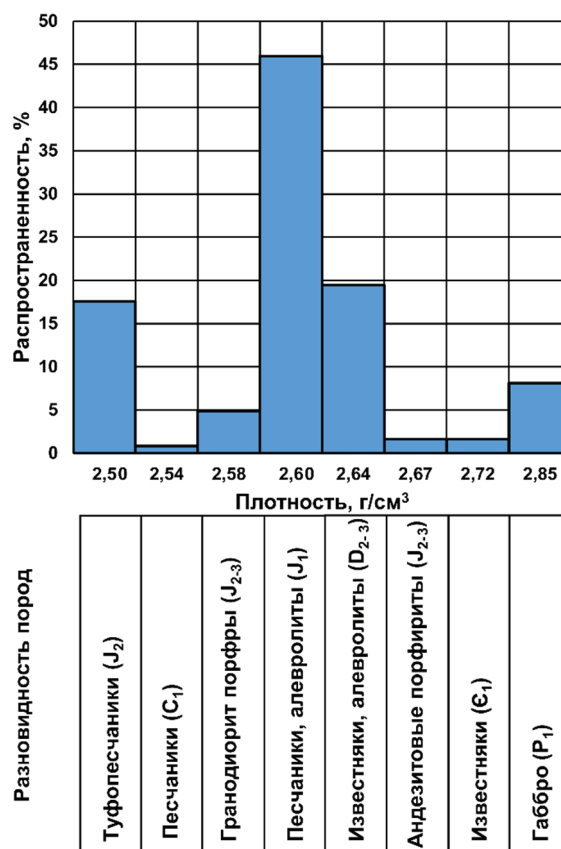


Рис. 1. Распространение пород на участке работ и их объёмная масса / Fig. 1. Distribution of rocks in the work area and their density

Полный цикл вычислений, включая поправку за рельеф, расчёт локальной составляющей аномалии силы тяжести и корреляционный анализ, производится с помощью программы Geosoft Oasis Montaj™.

Результаты исследования и их обсуждение. Компоновка из фрагментов участка съёмки, где показаны локальные аномалии силы тяжести для набора плотностей промежуточного слоя: 2,30; 2,35; 2,40; 2,45; 2,50; 2,55; 2,60; 2,65; 2,70 т/м³, проиллюстрирована на рис. 2.

Фрагмент участка гравиметрических работ имеет хорошо расчленённый рельеф, поэтому на рис. 2 наглядно демонстрируется, что при уменьшении плотности пород промежуточного слоя относительно средней плотности, локальные аномалии силы тяжести имеют положительную корреляцию с поведением рельефа местности. При завышенном значении плотности пород корреляция отрицательна. При правильном выборе плотности корреляция между аномалией Буге и поведением рельефа не наблюдается.

Наименьшая корреляция рельефа местности с локальной аномалией силы тяжести при подборе с шагом $0,05 \text{ т/м}^3$ составила

$2,60 \text{ т/м}^3$ ($rP=0,02$) (рис. 2 и 3). При детализации вычислений с шагом $0,01 \text{ т/м}^3$ составила $2,61 \text{ т/м}^3$ ($rP=0,00$).

Результаты расчётов хорошо коррелируются с распространённостью юрских осадочных пород (песчаников и алевролитов) на территории работ. Средневзвешенная плотность пород, учитывающая их распространённость на участке работ, составила $2,612 \text{ т/м}^3$.

Таким образом, средняя плотность пород, слагающих промежуточный слой при расчёте аномалии Буге, обладает наименьшей корреляцией с рельефом местности. Проведенное исследование подтверждает этот факт (рис. 2 и 3).

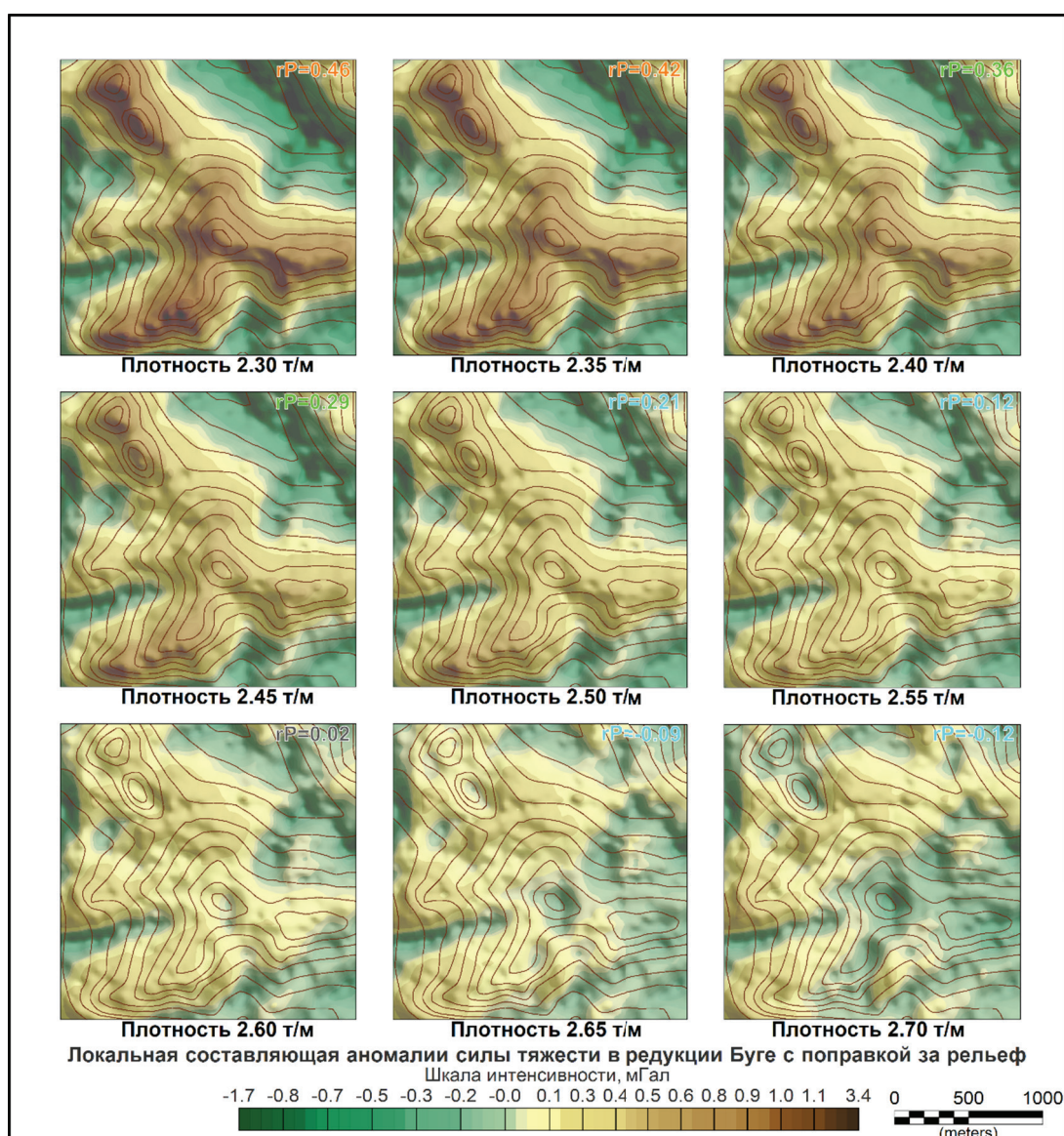


Рис. 2. Компонка из фрагментов аномалий силы тяжести, рассчитанных с разной плотностью промежуточного слоя / **Fig. 2.** Arrangement of fragments of gravity anomalies calculated with different density of the intermediate layer

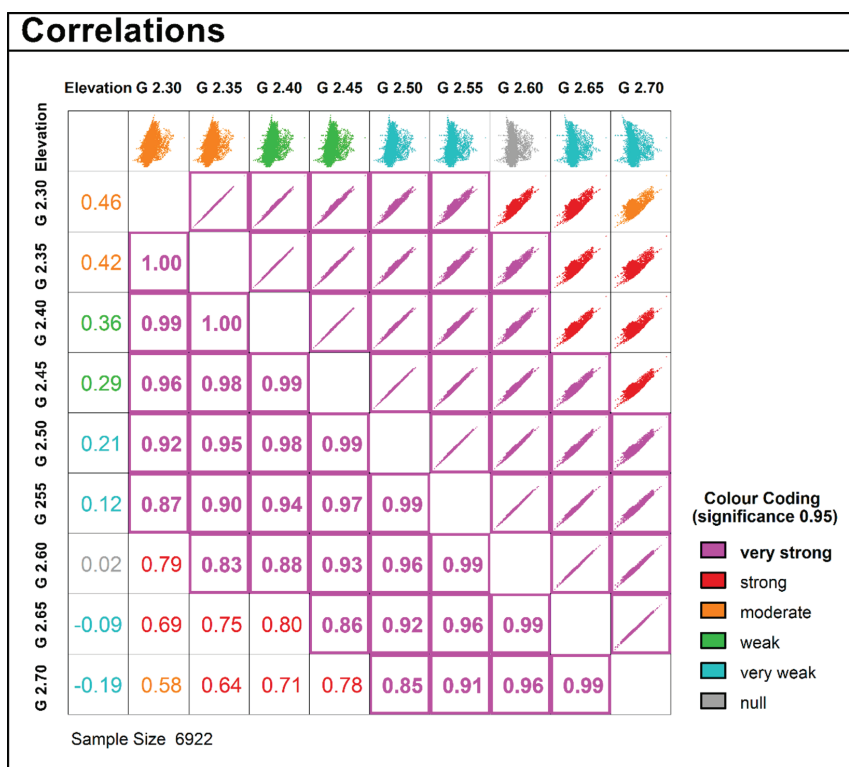


Рис. 3. Корреляции аномалий силы тяжести с рельефом местности /
Fig. 3. Correlations of gravity anomalies with terrain

Рассмотренный подход определения средней плотности промежуточного слоя способом наименьшей корреляции аномалии силы тяжести с рельефом местности, является оптимальным, технически пригодным и может быть использован для оперативной оценки плотностных характеристик, как отдельных участков съёмки, так и на всей территории гравиметрических работ.

Выводы и рекомендации. В редукции Буге для территорий с сильно расчленённым рельефом местности ярко выражено изменение аномалий силы тяжести в зависимости от плотности промежуточного слоя. При завышенной плотности пород, слагающих промежуточный слой, наблюдается отрицательная корреляция с рельефом местности, а при заниженной – положительная. Полученная средняя плотность пород $2,61 \text{ т/м}^3$, определённая способом наименьшей корреляции

аномалии силы тяжести с рельефом местности, хорошо коррелируется с известной плотностью наиболее распространенных пород на участке (песчаники и алевролиты, до 46 %).

Рассмотренный алгоритм является оперативным (все вычисления и расчёты заняли около двух рабочих дней), позволяет получить адекватные результаты, что положительно сказывается на дальнейшей геологической интерпретации.

При обработке материалов высокоточных гравиметрических работ, полученных в условиях сильно расчлененного рельефа местности, автор рекомендует применение алгоритма определения средней плотности пород промежуточного слоя способом наименьшей корреляции аномалии силы тяжести с рельефом местности. Алгоритм обработки рассмотрен в данной статье.

Список литературы

- Gabor P. Simultaneous determination of terrain correction and local average topographic density // Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica. 2009. No. 44. P. 191–202.
- Быков М. А. О способе учета влияния рельефа местности и промежуточного слоя на результаты гравиметрических измерений // Физика Земли. 1978. № 1. С. 116–119.
- Груздев Р. В., Рыльский И. А. Определение оптимальных параметров для вычисления поправок за рельеф на основе цифровых моделей рельефа местности (на примере Восточного Забайкалья) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 8. С. 12–25.

4. Груздев Р. В., Рыльский И. А. Применение воздушных лидаров в высокоточной гравиразведке (на примере Восточного Забайкалья) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 2. С. 6–18.
5. Груздев Р. В. Обработка аномалий силы тяжести на основе аппроксимаций поля методом наименьших квадратов (на примере Восточного Забайкалья) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2023. № 1. С. 44–49.
6. Долгаль А. С., Бычков С. Г., Антипин В. В. Повышение точности определения поправок за влияние рельефа при гравиметрической съемке // Геофизика. 2003. № 6. С. 44–50.
7. Каленицкий А. И. Еще раз о редуционных проблемах гравиметрии // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2006. Т. 3, № 2. С. 130–143.
8. Каленицкий А. И. К проблеме повышения качества редуцирования гравитационного поля и его аномальной составляющей в геодезии и геодинамике // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2005. № 10. С. 37–42.
9. Кульдеев Е. И. Новые способы определения плотности пород промежуточного слоя: труды международной конференции «Инженерное образование и наука в XXI веке», посвященной 70-летию КазНТУ имени К. И. Сатпаева: в 2 т. Алматы: Изд-во КазНТУ, 2004. Т. 1. С. 272–283.
10. Кульдеев Е. И. Разработка способов и методики определения плотности горных пород по значениям гравитационного поля: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.10. М., 2005. 23 с.
11. AGT Systems. Гравиметрический комплекс Autograv CG-5 компании Scintrex: руководство по эксплуатации. М., 2002. 248 с. URL: https://scintrexltd.com/wp-content/uploads/2017/02/CG-5-Manual-Ver_8.pdf (дата обращения: 21.06.2023). Текст: электронный.
12. Autograv Automated Gravity Meter: operator manual. Canada, Ontario. 1998. 218 p. URL: <https://scintrexltd.com/wp-content/uploads/2017/02/CG3-Manual.pdf> (дата обращения: 21.06.2023). Текст: электронный.
13. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки / гл. ред. В. И. Волчихин, А. М. Бершадский. Пенза: Пензенский государственный университет, 2016. № 4. 160 с.
14. Европейский конгресс ревматологов: X Европейский конгресс ревматологов, Москва, 26 июня – 2 июля 1983 г. М.: Тезисы докладов. 1983 г. URL: <https://emll.ru/request> (дата обращения: 21.06.2023). Текст: электронный.
15. Глобальный научный потенциал: научно-практический журнал. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F1515151124/g_n_p_12_141__main.pdf (дата обращения: 21.07.2023). Текст: электронный.

References

1. Gabor P. Simultaneous determination of terrain correction and local average topographic density. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, no. 44, pp. 191–202, 2009. (In Eng.).
2. Bykov M. A. On the method of taking into account the influence of terrain and intermediate layer on the results of gravimetric measurements. *Physics of the Earth*, no. 1, pp. 116–119, 1978. (In Rus.).
3. Gruzdev R. V., Rytsky I. A. Determination of optimal parameters for calculating terrain corrections based on digital terrain models (on the example of Eastern Transbaikalia). *Bulletin of the Transbaikalian State University*, vol. 27, no. 8, pp. 12–25, 2021. (In Rus.).
4. Gruzdev R. V., Rytsky I. A. The use of aerial lidars in high-precision gravity exploration (on the example of Eastern Transbaikalia). *Bulletin of the Transbaikalian State University*, vol. 28, no. 2, pp. 6–18, 2022. (In Rus.).
5. Gruzdev R. V. Processing of gravity anomalies based on field approximations by the least squares method (on the example of Eastern Transbaikalia). *Geology and mineral resources of Siberia*, no. 1, pp. 44–49, 2023. (In Rus.).
6. Dolgal A. S., Bychkov S. G., Antipin V. V. Improving the accuracy of determining corrections for the influence of relief during gravimetric survey. *Geophysics*, no. 6, pp. 44–50, 2003. (In Rus.).
7. Kalenitsky A. I. Once again about the reduction problems of gravimetry. *In-terexpo Geo-Siberia*, vol. 3, no. 2, pp. 130–143, 2006. (In Rus.).
8. Kalenitsky A. I. On the problem of improving the quality of the reduction of the gravitational field and its anomalous component in geodesy and geodynamics. *Bulletin of the SSGA*, no. 10, pp. 37–42, 2005. (In Rus.).
9. Kuldeev E. I. New ways of determining the density of rocks of the intermediate layer. *Proceedings of the international conference “Engineering Education and Science in the XXI century” dedicated to the 70th anniversary of KazNTU named after K. I. Satpayev*. Almaty: KazNTU Publ. House. 2004. Vol. 1. (In Rus.).
10. Kuldeev E. I. Development of methods and techniques for determining the density of rocks by the values of the gravitational field: abstract diss. ... cand. tech. sci., 25.00.10. M., 2005. (In Rus.).
11. AGT Systems. Gravimetric complex Autograv CG-5 of Scintrex company: operating manual: trans. from eng. M., 2002. Web. 21.06.2023. https://scintrexltd.com/wp-content/uploads/2017/02/CG-5-Manual-Ver_8.pdf. (In Eng.).
12. Autograv Automated Gravity Meter: operator manual. Canada, Ontario. 1998. Web. 21.06.2023. <https://scintrexltd.com/wp-content/uploads/2017/02/CG3-Manual.pdf>. (In Eng.).

13. News of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences. ed. in-chief V. I. Volchikhin, A. M. Bershadsky. Penza: Penza State University, 2016. (In Rus.).
14. European Congress of Rheumatologists: X European Congress of Rheumatologists, Moscow, June 26 – July 2, 1983, Moscow: Abstracts of reports. 1983. Web. 21.06.2023. <https://emll.ru/request>. (In Rus.).
15. Global scientific potential: a scientific and practical journal. Web. 21.07.2023. https://kpfu.ru/staff_files/F1515151124/g_n_p_12_141__main.pdf. (In Rus.).

Информация об авторе

Груздев Роман Викторович, канд. геол.-минерал. наук, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; roguzdev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1748-864X>. Область научных интересов: геология, геофизика.

Information about the author

Gruzdev Roman V., candidate of geological and mineralogical sciences, Transbaikal State University, Chita, Russia; roguzdev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1748-864X>. Research interests: geology, geophysics.

Для цитирования

Груздев Р. В. Определение средней плотности пород промежуточного слоя способом наименьшей корреляции аномалии силы тяжести с рельефом местности (на примере Восточного Забайкалья) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 4. С. 25–32. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-4-25-32.

For citation

Gruzdev R. V. Determination of the average density of rocks of the intermediate layer by the method of the least correlation of the gravity anomaly with the terrain (on the example of Eastern Transbaikalia) // Transbaikal State University Journal. 2023. Vol. 29, no. 4. P. 25–32. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-4-25-32.