УДК 550.831: 550.83.04 DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-56-63

Гравиметрическая съемка в пределах старой горной выработки

Вдовин А. Г.[1]*, Угрюмов И. А.[1]
[1] Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: agvd@bk.ru

Реферат

Целью работы *является исследование участка под малоэтажное строительство, а также выявление возможных пустот и зон дезинтеграции горных пород.*

Методология. *Выполнены наземные площадные гравиметрические работы термостатированным гравиметром CG-5 Autograv фирмы Scintrex (Канада). Топографо-геодезическое обеспечение гравиметрической съемки проводилось с помощью высокоточного геодезического ГНСС-приемника (глобальной навигационной спутниковой сиситемы) методом RTK (real time kinematic – кинематические измерения, выполняемые в реальном времени). Для учета поправок использовалась сеть референцных базовых станций PrinNet.*

Результаты и их анализ. *По результатам исследования построены карта поля силы тяжести в редукции Буге и карта аномального гравитационного поля. Анализ полученных результатов позволил выделить зону, связанную с наличием горной подработки. Эта зона находится в пределах исследуемого земельного участка, в центральной части. Рассчитана плотностная модель, определены пространственное положение и глубина горной выработки. По результатам исследования не рекомендовано возведение капитальных строений в восточной части земельного участка в пределах выделенной аномальной зоны, так как степень разуплотнения горных пород в этой зоне достигает 0,7 г/см^3, что для рыхлых пород является критическим значением, для скальных пород несущая способность зависит от конкретных горно-технических условий. При строительстве в северо-западной части участка (наиболее удаленной от аномальной зоны) необходима проходка инженерно-геологических скважин для определения несущей способности грунтов и обоснования конструкции фундаментов.*

Ключевые слова: *гравиметрия; подземные пустоты; горные выработки; сейсморазведка; георадиолокация; геофизические исследования; редукция Буге; подработка.*

Введение. При строительстве зданий и сооружений над горными выработками необходимо применять проектные решения, исключающие воздействие подработки на возводимые здания. Также следует учитывать сдвижения и деформации земной поверхности, включающие оседания, наклон, кривизну, горизонтальное сдвижение, растяжение или сжатие. Исходя из того, что площадки, намеченные под строительство, предпочтительно располагать на участках с минимальной глубиной просадочных толщ с деградированными просадочными грунтами, а также на участках, где просадочная толща подстилается малосжимаемыми грунтами, позволяющими применять фундаменты глубокого заложения, в том числе свайные, целесообразно перед началом строительства выполнять геолого-геофизические инженерные работы. Также, исходя из нормативных документов, необходимо выполнять ликвидацию (тампонаж, закладку и т. п.) выявленных в процессе изыскательских работ пустот старых горных выработок, находящихся на глубине до 80 м. Пренебрежение описанными фактами может стать причиной увеличения затрат по защите зданий и сооружений от воздействия горных подработок,

роста стоимости ремонта и обеспечения бесперебойной работы оборудования, а также полной гибели объекта в результате неполноты конструктивных решений. Выполнение инженерных изысканий позволяет оценить экономическую эффективность строительства и возможные варианты размещения зданий и сооружений. Остро встает вопрос о точном определении местоположения и состояния горных выработок на территории подработок.

На сегодняшний день при выполнении инженерно-геологических изысканий для проектирования объектов капитального строительства нормального и повышенного уровней ответственности, ширина и длина которых не превышает 12 м, согласно строительным нормативам Российской Федерации, необходимо проходить одну инженерно-геологическую скважину, а на территориях, относящихся к сложной категории, для такого же здания – две. Из-за малой детальности такое количество изыскательских скважин не всегда может дать полную и исчерпывающую информацию о геологическом строении исследуемой территории. Изменение количества скважин влечет за собой существенное увеличение стоимости работ и временных затрат. Альтернативой геологической проходке скважин служат геофизические методы исследований. При поиске и исследовании подземных пустот довольно широко применяются методы сейсморазведки [1–3], георадиолокации [3–7] и электроразведки [8–12]. Гравиметрические исследования давно и успешно применяются при контроле за разработкой, наблюдении за состоянием подработанного массива и прогнозе опасных зон [13–16]. Такие методы имеют преимущества и недостатки в зависимости от геологического строения и размеров горных подработок. К недостаткам гравиразведки можно отнести чувствительность к размерам и глубине заложения подработки, т. е. чем меньше и глубже горная подработка, тем меньше вероятность ее подсечь. Это утверждение справедливо и для георадиолокации, при этом здесь оперируют куда меньшими глубинами, а положительный результат обнаружения зависит от различия в диэлектрической проницаемости слоев. Электроразведка эффективна только в том случае, если подземная полость заполнена водой или глиной, т. е. обладает повышенной электрической проводимостью. Сейсморазведка при рассматриваемых видах работ малоэффективна в зимнее время года при промерзании верхней части разреза.

Геофизические работы выполнены в северо-западной части окраины г. Березовский (Свердловская область). Березовское рудное поле является одним из старейших золоторудных месторождений России, оно принадлежит золото-сульфидно-кварцевой формации и разрабатывается с 1748 г. Большинство рудных сульфидно-кварцевых жил пространственно приурочено к дайковым породам гранитоидного состава, залегающих во вмещающих вулканогенно-осадочных породах. Дайки имеют различный состав – от ранних плагиогранит-порфиров, лампрофиров, плагиосиенит-порфиров к более поздним гранит-порфирам, пегматоидным лейкократовым гранитам, аплитам и др. [17]. Начиная с XVIII–XIX вв. золото добывалось подземным способом, шахтами глубиной от 6 до 47 м с сечением до 3–5 м. Глубина заложения шахт на сегодняшний день превышает 700 м, работы производятся этажно-камерной системой разработки.

Методика проведения исследования. Наземные площадные гравиметрические работы проведены Институтом геофизики УрО РАН с целью изучения геологического строения, выявления разуплотненных и ослабленных зон в области возможной горной подработки. Из архивных документов известно о наличии на участке проведения работ интрузивного тела, пересекающего участок с севера на юг. Основанием применения метода гравиметрии являлось существенное

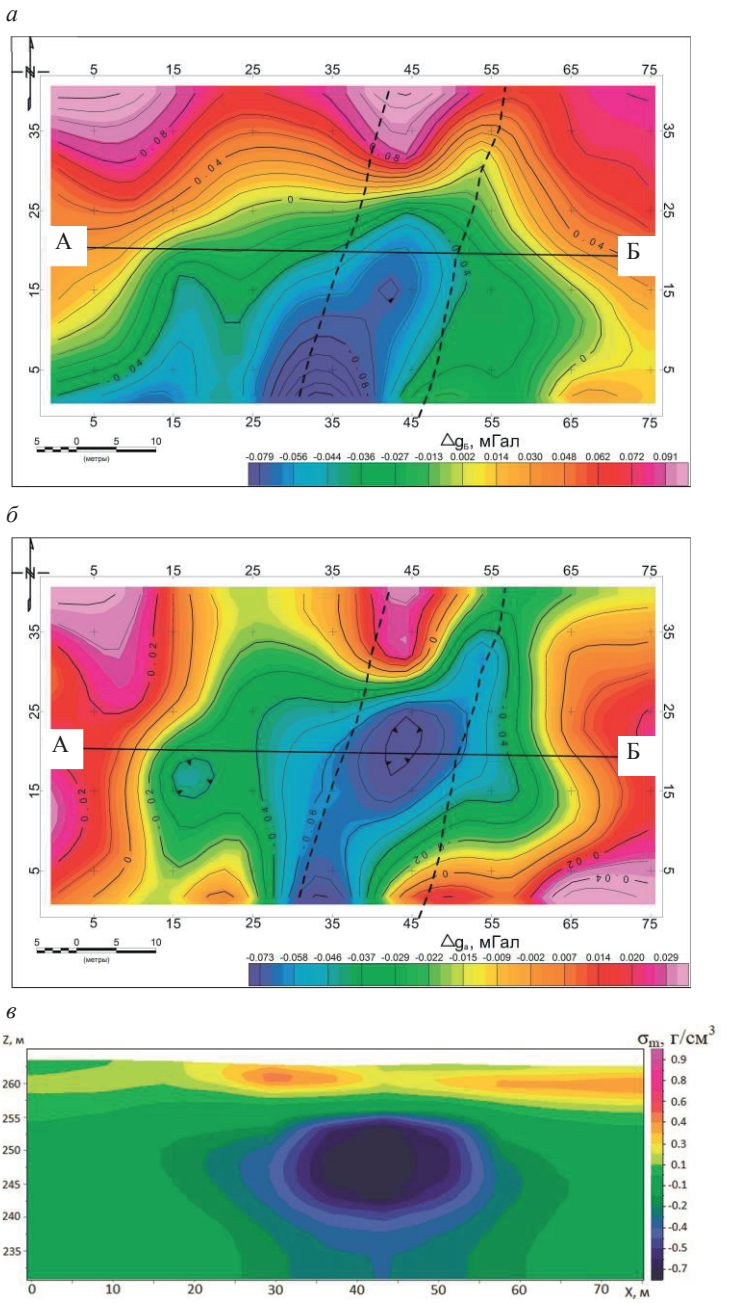

Рисунок 1. Результаты гравиметрических исследований: *а* – карта поля силы тяжести $\Delta g_Б$ в редукции Буге; *б* – локальная составляющая Δg_a гравитационного поля; пунктирной черной линией показаны границы дайки Леоньтевской (создано с использованием программного обеспечения Oasis montaj); *в* – распределение аномальной плотности, разрез по субширотному профилю АБ, σ_m – аномальная плотность горных пород (создано с использованием программного обеспечения ZondGM3D)

Figure 1. Results of gravimetric survey: *a* – map of the gravity field $\Delta g_Б$ in the Bouguer reduction; *б* – local component Δg_a of the gravity field; the dashed black line denotes the boundaries of the Leontievsky dike (created using Oasis montaj software); *в* – distribution of anomalous density, section along the sublatitudinal profile АБ, σ_m – anomalous density of rocks (created using ZondGM3D software)

различие в плотности ненарушенных коренных пород и участков подработанных территорий. Для пустот плотность равна практически нулю, объемный вес рыхлых образований – 1,9–2,0 г/см^3, коренных пород – 2,5–3,0 г/см^3. Гравиметрия является прямым методом поиска, так как плотность – достаточно стабильный параметр.

Измерения приращений силы тяжести выполнены термостатированным гравиметром CG-5 Autograv фирмы Scintrex (Канада). Эксплуатация и хранение прибора осуществлялись согласно требованиям изготовителей и инструкции по гравиразведке [18].

Топографо-геодезическое обеспечение гравиметрической съемки выполнялось с помощью высокоточного геодезического ГНСС-приемника (глобальной навигационной спутниковой сиситемы) методом RTK (real time kinematic – кинематические измерения, выполняемые в реальном времени), для учета поправок использовалась сеть референцных базовых станций PrinNet. Погрешность определения координат в пунктах наблюдения составила не более 5 см в плане и по высоте.

Развитие полевой опорной сети на участке не производилось, все измерения осуществлялись от исходного гравиметрического пункта по центральной системе. Рядовые наблюдения выполнены на 44 координатных пунктах по четырем профилям с шагом 7 м по однократной методике с одним гравиметром CG-5 при пешем передвижении. С целью увеличения точности съемки, включающей точный учет дрейфа прибора, измерения на исходном гравиметрическом пункте проводились после каждого пройденного профиля, а в середине гравиметрического рейса осуществлялся контроль предыдущего. Среднеквадратическая погрешность определения поля силы тяжести в редукции Буге по результатам рядовых и контрольных наблюдений с учетом погрешности определения высот, координат пунктов наблюдений, вычисления поправок за влияние рельефа местности составила 10^{-7} м/с^2 (±0,01 мГал).

Анализ и обсуждение. Полученные результаты представлены в виде карты поля силы тяжести в редукции Буге $\Delta g_Б$ (рис. 1). Диапазон изменения поля в пределах относительно небольшой площади исследования достигает 2,09 · 10–6 м/с^2 (0,209 мГал). Измеренное поле представляет собой суперпозицию влияния всех тел и плотностных границ на рассматриваемой площади: это вещественные неоднородности кристаллического фундамента, форма его поверхности, элементы осадочного чехла с интрузивными телами.

Гравитационное поле в редукции Буге в пределах участка имеет высокоградиентные зоны изменения поля. Исходя из анализа материалов архивного фонда, исследуемый участок с севера на юг, через центральную часть, пересекает дайка Леонтьевская, в пределах которой ранее проводились горные работы. Для выделения локальной составляющей гравитационного поля из рассчитанных значений поля в редукции Буге был вычтен региональный фон путем пересчета гравитационного поля в верхнее полупространство. Эта трансформанта отражает плотностное строение верхней части разреза. В центральной части выделяется узкая линейная отрицательная аномалия, фиксирующая разуплотнение пород. Минимальные значения связаны с пониженными значениями плотности горных пород.

Анализ карты гравитационного поля в редукции Буге и аномального гравитационного поля позволяет выделить зону, где можно ожидать наличие горных подработок и дезинтегрированных разуплотненных горных пород. Рассматриваемая зона находится в пределах исследуемого земельного участка, в центральной части.

Для количественной оценки распределения плотностных неоднородностей по площади участка выполнена 3D-инверсия гравитационных данных с помощью программного обеспечения ZondGM3D [19]. В результате трехмерной инверсии построена 3D-модель распределения аномальной плотности. За исходные данные гравиметрии было взято поле силы тяжести в редукции Буге без удаления регионального фона, параметры избыточной плотности приняты равными ±0,8 г/см^3. Пример результата моделирования по субширотному профилю (линия АБ) приведен на рис. 1, *в*.

В центральной части профиля наблюдается аномальная область, предположительно связанная с горной подработкой. Дефицит плотности выделенной зоны, по сравнению с вмещающими породами, достигает 0,7 г/см^3. По данным моделирования минимальная глубина залегания горной подработки составляет 10–15 м.

Выводы. Выполненные геофизические исследования позволили выделить в пределах участка аномальную зону, предположительно связанную с горной подработкой и зоной дезинтегрированных разуплотненных горных пород.

Степень разуплотнения горных пород в выделенной зоне достигает 0,7 г/см^3, что снижает их несущую способность. Для рыхлых отложений такое снижение плотности является критическим значением (несущая способность практически отсутствует), для скальных пород несущая способность зависит от конкретных горно-технических условий (наличие блокового строения массива, трещиноватости).

По результатам исследования не рекомендовано возведение капитальных строений в восточной части земельного участка в пределах аномальной зоны. При строительстве в северо-западной части участка (наиболее удаленной от аномальной зоны) необходима проходка инженерно-геологических скважин для определения несущей способности грунтов и обоснования конструкции фундаментов.

Приведенный пример свидетельствует об эффективности использования гравиметрических наблюдений при инженерно-геофизических исследованиях геологического строения горных выработок. Изменения плотности пород в горном массиве, происходящие при проходке шахтных стволов и в результате их закладки пустой породой и/или вскрышными грунтами, отчетливо фиксируются в гравитационном поле. Используя современные высокоточные гравиметры, геодезическое оборудование, априорную информацию и математические аппараты для интерпретации гравитационных аномалий, можно успешно решать сложные геологические задачи, выделять участки повышенной опасности и отслеживать изменения плотности геологической среды под воздействием горных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романов В. В., Посеренин А. И., Дронов А. Н., Мальский К. С. Обзор геофизических методов, применяемых при поиске геомеханических нарушений вблизи горных выработок // ГИАБ. 2016. № 1. С. 243–248.

2. Санфиров И. А., Бабкин А. И. Методические особенности шахтных сейсмоакустических исследований на Верхнекамском месторождении калийных солей // ГИАБ. 2007. № 11. С. 145–154.

3. Butchibabu B., Khan P. K., Jha P. C. Geophysical investigations for stability and safety mitigation of regional crude-oil pipeline near abandoned coal mines // Journal of geophysics and engineering. 2021. Vol. 18. Iss. 1. P. 145–162. DOI: 10.1093/jge/gxab003

4. Mogren S. Integrated use of electrical resistivity tomography and ground penetration radar for identifying subsurface sinkholes in Rufa Graben, Central Riyadh // Arabian journal of geosciences. 2020. Vol. 13. P. 1–16.

5. Carbonel D., Rodr?guez V., Guti?rrez F., McCalpin J. P., Linares R., Roqu? C., Zarroca M., Guerrero J., Sasowsky I. Evaluation of trenching, ground penetrating radar (GPR) and electrical resistivity tomography (ERT) for sinkhole characterization // Earth surface processes and landforms. 2014. Vol. 39. P. 214–227.

6. Benson A. K. Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: examples of groundwater contamination, faults, cavities // Journal of applied geophysics. 1995. Vol. 33. P. 177–193. DOI: 10.1016/0926-9851(95)90040-309269851

7. Давыдов В. А., Горшков В. Ю., Вдовин А. Г. Геофизические исследования подземных гидротехнических сооружений на примере старого Глубочинского водовода // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 2. С. 87–95. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-2-87-95

8. Давыдов В. А., Горшков В. Ю., Маликов А. В. Выявление подземных выработок геофизическими методами // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2016. № 5. С. 104–110.

9. Давыдов В. А., Горшков В. Ю. Инженерно-геофизические изыскания в районе старых подземных выработок // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле земли, интерпретация геофизических полей: XII научные чтения памяти Ю. П. Булашевича; матер. конф. Екатеринбург, 2023. С. 47–50.

10. Кузин А. В., Гадельшина Э. Х., Борисов И. О. Инженерная геофизика при исследовании зон подработок даек березитов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 5. С. 87–93.

11. Martínez-López J., Rey J., Dueñas J., Hidalgo C., Benavente J. Electrical resistivity imaging survey to detect uncharted mine galleries in the mining district of Linares, Jaén, Spain // Journal of geophysics and engineering. 2012. Vol. 9. Iss. 1. P. 82–89. DOI: 10.1088/1742-2132/9/1/010

12. Jung-Ho Kim, Myeong-Jong Yi, Se-Ho Hwang, Yoonho Song, Seong-Jun Cho, Joong-Ho Synn. Integrated geophysical surveys for the safety evaluation of a ground subsidence zone in a small city // Journal of geophysics and engineering. 2007. Vol. 4. Iss. 3. P. 332–347. DOI: 10.1088/1742-2132/4/3/S12

13. Щербинина Г. П. Изучение изменения плотностного состояния подработанной толщи // Горное эхо. 2019. № 4(77). С. 50–53. DOI: 10.7242/echo.2019.4.12

14. Бычков С. Г. Результаты мониторинговых гравиметрических наблюдений на верхнекамском месторождении калийных солей // Горное эхо. 2021. № 4(85). С. 45–50. DOI: 10.7242/echo.2021.4.10

15. Симанов А. А., Хохлова В. В. Разработка методики мониторинговых гравиметрических исследований для изучения карстовых процессов // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2021. № 3. С. 34–41. DOI: 10.7242/2658-705X/2021.3.5

16. Пугин А. В., Мичурин А. В., Симанов А. А., Хохлова В. В., Новикова П. Н. Опытно-методические геофизические работы на территории историко-природного комплекса «Ледяная гора и Кунгурская ледяная пещера» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. № 24. С. 191–197.

17. Баранников А. Г. Березовское золоторудное месторождение проблемы формирования, дальнейшего изучения // Известия УГГУ. 2019. Вып. 4(56). С. 39–52. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-4-39-52

18. Инструкция по гравиразведке / отв. ред. К. Е. Веселов. Москва, 1980. 91 с.

19. Пакет программ Zond. URL: http://zond-geo.com (дата обращения: 11.06.2024)

Поступила в редакцию 9 июля 2024 года

Сведения об авторах:

Вдовин Алексей Геннадьевич – научный сотрудник Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: agvd@bk.ru; https://orcid.org/0000-0001-6748-9291
Угрюмов Иван Александрович – научный сотрудник Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: ugrivan@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0007-1977-1218

DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-56-63

Gravimetric survey within an old mine working

Aleksei G. Vdovin[1], Ivan A. Ugriumov[1]
[1] Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research objective *is to study the site for low-rise construction, as well as to identify possible voids and zones of rock disintegration.*

Methods of research. *Ground-based areal gravimetric work was performed using the CG-5 AUTOGRAV thermostated gravimeter by SCINTREX (Canada). A high-precision geodetic GNSS receiver and the RTK method provided topographic and geodetic support for gravimetric survey. PrinNet reference station network was used to adjust corrections.*

Results and analysis. *Based on the research results, a map of the gravity field in the Bouguer reduction and a map of the anomalous gravity field were constructed. The obtained results analysis made it possible to identify a zone associated with the presence of mining. This zone is located*

within the land plot under study, in the central part. A density model of the selected mine opening was calculated, its spatial position and depth were determined. Based on the research findings, it is not recommended to construct permanent structures in the eastern part of the land plot within the designated anomalous zone, since the degree of decompaction of rocks in this zone reaches 0.7 g/cm³, which is a critical value for loose rocks; for hard rocks, load-bearing ability depends on specific mining conditions. When constructing in the northwestern part of the site (farthest from the anomalous zone), it is necessary to drill geotechnical wells to determine the bearing capacity of the soil and justify the design of the foundations.

Keywords: *gravimetry; underground hollow spaces; mine workings; seismic prospecting; ground penetrating radar; geophysical exploration; Bouguer reduction; undermining.*

REFERENCES

1. Romanov V. V., Poserenin A. I., Dronov A. N., Malsky K. S. Review of geophysical methods to detect mechanical damages in rock mass around excavations. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal).* 2016; 1: 243–248 (In Russ.)

2. Sanfirov I. A., Babkin A. I. Methodological features of mine acoustic measurements at the Upper-Kama potassium salt deposit. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal).* 2007; 11: 145–154. (In Russ.)

3. Butchibabu B., Khan P. K., Jha P. C. Geophysical investigations for stability and safety mitigation of regional crude-oil pipeline near abandoned coal mines. *Journal of Geophysics and Engineering.* 2021; 18(1): 145–162. Available from: doi: 10.1093/jge/gxab003

4. Mogren S. Integrated use of electrical resistivity tomography and ground penetration radar for identifying subsurface sinkholes in Rufa Graben, Central Riyadh. *Arabian Journal of Geosciences.* 2020; 13: 1–16.

5. Carbonel D., Rodríguez V., Gutiérrez F., McCalpin J.P., Linares R., Roqué C., Zarroca M., Guerrero J., Sasowsky I. Evaluation of trenching, ground penetrating radar (GPR) and electrical resistivity tomography (ERT) for sinkhole characterization. *Earth Surface Processes and Landforms.* 2014; 39: 214–227.

6. Benson A. K. Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: examples of groundwater contamination, faults, cavities. *Journal of Applied Geophysics*. 1995; 33: 177–193. Available from: doi: 10.1016/0926-9851(95)90040-309269851

7. Davydov V. A., Gorshkov V. Iu., Vdovin A. G. Geophysical research of underground hydraulic structures, old Glubochinsky water tunnel case study. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering.* 2023; 2: 87–95. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/0536-1028-2023-2-87-95

8. Davydov V. A., Gorshkov V. Iu., Malikov A. V. Undergroung mine workings detecting with the help of geophysical methods. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering.* 2016; 5: 104–110. (In Russ.)

9. Davydov V. A., Gorshkov V. Iu. Geophysical engineering surveys in the area of old underground workings. In: *Deep structure, geodynamics, thermal field of the earth, interpretation of geophysical fields: Proceedings of the 12th scientific readings in memory of Iu. P. Bulashevich*. Ekaterinburg; 2023. p. 47–50. (In Russ.)

10. Kuzin A. V., Gadelshina E. Kh., Borisov I. O. Engineering geophysics for the study of undermined zones around beresite dykes. *Geoekologiia. Inzhenernaia geologiia. Gidrogeologiia. Geokriologiia = Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology.* 2021; 5: 87–93 (In Russ.)

11. Martínez-López J., Rey J., Dueñas J., Hidalgo C., Benavente J. Electrical resistivity imaging survey to detect uncharted mine galleries in the mining district of Linares, Jaén, Spain. *Journal of Geophysics and Engineering.* 2012; 9(1): 82–89. Available from: doi: 10.1088/1742-2132/9/1/010

12. Jung-Ho Kim, Myeong-Jong Yi, Se-Ho Hwang, Yoonho Song, Seong-Jun Cho, Joong-Ho Synn. Integrated geophysical surveys for the safety evaluation of a ground subsidence zone in a small city. *Journal of Geophysics and Engineering.* 2007; 4(3): 332–347. Available from: doi: 10.1088/1742-2132/4/3/S12

13. Shcherbinina G. P. Study of changes in the density state of the undermined strata. *Gornoe ekho = Mining Echo*. 2019; 4(77): 50–53. (In Russ.) Available from: doi: 10.7242/echo.2019.4.12

14. Bychkov S. G. Results of monitoring gravimetric observations at the Upper Kama potassium salt deposit. *Gornoe ekho = Mining Echo.* 2021; 4(85): 45–50. (In Russ.) Available from: doi: 10.7242/echo.2021.4.10

15. Simanov A. A., Khokhlova V. V. Development of monitoring gravimetric survey method for studying karst processes. *Vestnik Permskogo federalnogo issledovatelskogo tsentra = Bulletin of the Perm Federal Research Center*. 2021; 3: 34–41. (In Russ.) Available from: doi:10.7242/2658-705X/2021.3.5

16. Pugin A. V., Michurin A. V., Simanov A. A., Khokhlova V. V., Novikova P. N. Experimental and methodological geophysical work on the territory of the historical and natural complex of Ice Mountain

and Kungur Ice Cave. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle = Bulletin of Kamchatka Regional Association Educational-Scientific Center. Earth sciences.* 2014; 2(24): 191–197. (In Russ.)

17. Barannikov A. G. Berezovskoye gold ore deposit: problems of formation, further study. *Izvestiia Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University.* 2019; 4(56): 39–52. (In Russ.) Available from: doi: 10.21440/2307-2091-2019-4-39-52

18. Veselov K. E. (ed.) *Gravity survey instructions.* Moscow: 1980. (In Russ.)

19. *Zond software package.* Available from: http://zond-geo.com (Accessed: 06.11.2024)

Received 9 July 2024

Information about the authors:

Aleksei G. Vdovin – researcher, Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: agvd@bk.ru; https://orcid.org/0000-0001-6748-9291

Ivan A. Ugriumov – researcher, Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: ugrivan@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0007-1977-1218

Для цитирования: Вдовин А. Г., Угрюмов И. А. Гравиметрическая съемка в пределах старой горной выработки // Известия вузов. Горный журнал. 2025. № 3. С. 56–63. DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-56-63

For citation: Vdovin A. G., Ugriumov I. A. Gravimetric survey within an old mine working. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering.* 2025; 3: 56–63 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-56-63