

Петрофизические параметры габбродолеритов новогольского комплекса (Воронежский кристаллический массив)

©2023 О. М. Муравина[✉], В. И. Жаворонкин, А. Ю. Харин, И. А. Пономаренко

*Воронежский государственный университет,
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Рассматриваются результаты статистического анализа петрофизических параметров магматогенных образований новогольского комплекса Воронежского кристаллического массива. Изучение габбродолеритовых массивов новогольского комплекса является важной задачей в связи с их перспективностью на цветные и благородные металлы.

Методика: Фактическими данными для исследования стали новые результаты петрофизических определений пород новогольского комплекса, которые были выполнены в петрофизической лаборатории кафедры геофизики. В итоге цифровая пространственная база данных пород Воронежского кристаллического массива пополнилась информацией о плотности, магнитной восприимчивости и скорости распространения упругих волн. Общий объем новых данных составил 1475 петрофизических определений. Представительность петрофизических данных позволила выполнить не только традиционный статистический анализ, но и применить метод группового учета аргументов (МГУА) с целью создания идентификационных моделей, объединяющих петрофизические и пространственные атрибуты в едином характеристическом уравнении. Первичная обработка позволила сформировать статистически однородные выборки данных, которые затем были проанализированы с помощью МГУА. Для реализации метода было использовано уникальное программное обеспечение, разработанное на кафедре геофизики.

Результаты и обсуждение: В результате анализа МГУА для пород новогольского комплекса были получены две идентификационные модели: модель 1, объединяющая все петрофизические характеристики плотность (σ), магнитную восприимчивость (χ) и скорость упругих волн (V) в едином модельном уравнении $\sigma = f(\chi, V)$ и модель 2, которая позволяет оценить плотность пород по глубине отбора образца (H) и скорости упругих волн: $\sigma = f(V, H)$.

Выводы: Полученные модели можно рассматривать как комплексную петрофизическую характеристику пород. Первая модель может эффективно быть использована для решения классификационных задач, а также в процедуре комплексной интерпретации геофизических данных с целью построения реалистичных 3D строения верхней коры. Вторая модель выявляет выраженную зависимость между плотностью, скоростью продольных волн и глубиной отбора образца, что может служить косвенным подтверждением предположения о расслоенности габбродолеритовых массивов новогольского комплекса.

Ключевые слова: петрофизика, статистика, метод группового учета аргументов.

Источник финансирования: работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 23-27-00251

Для цитирования: Муравина О. М., Жаворонкин В. И., Харин А. Ю., Пономаренко И. А. Петрофизические параметры габбродолеритов новогольского комплекса (Воронежский кристаллический массив) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2023. № 4. С. 134-139. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/134-139>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Муравина Ольга Михайловна, e-mail: muravina@geol.vsu.ru

Введение

В предлагаемой статье представлены результаты статистического анализа петрофизических параметров габбродолеритов новогольского комплекса Воронежского кристаллического массива, интерес к которым связан с их возможной перспективностью на цветные и благородные металлы [1]. Системное изучение петрофизических параметров пород новогольского комплекса было выполнено в последние годы в петрофизической лаборатории кафедры геофизики. Физические параметры измерялись и обрабатывались по стандартной методике. Результаты исследований представлены в [2–4]. В итоге цифровая пространственная база данных пород Воронежского кристаллического массива [5] пополнилась информацией о плотности (616 определений), магнитной восприимчивости (456 определений) и скорости распространения упругих волн (403 определения). Таким образом, общий объем новых данных составил 1475 петрофизических определений. Представительность петрофизических данных позволила выполнить полноценный статистический анализ не только традиционными методами (построение вариационных кривых и расчет статистических характеристик для плотности, магнитной восприимчивости и скорости продольных волн), но и применить

метод группового учета аргументов с целью создания идентификационных моделей, объединяющих петрофизические и пространственные атрибуты в едином характеристическом уравнении.

Объект исследований

Магматогенные образования, относимые к новогольскому комплексу, распространены на северо-востоке Воронежского кристаллического массива (ВКМ), в центральной части Хоперского мегаблока (Калач-Эртильская структурно-формационная подзона) [1, 6], где они преимущественно приурочены к зоне пересечения Шумилинско-Новохоперского, Воронежско-Курского и Мичуринско-Поворинского региональных разломов [7]. Магматические тела сложной формы и разнообразны по размерам (рис. 1) сосредоточены в рамках локального ареала.

В соответствии с геологическими и петрохимическими особенностями магматиты отнесены к трапповой формации [1]. Породы новогольского комплекса представлены долеритами, троктолитовыми габбродолеритами, оливиновыми габбродолеритами и долерит-пегматитами. Главными и существенно преобладающими породами являются габбродолериты и троктолитовые габбродолериты [1, 7].

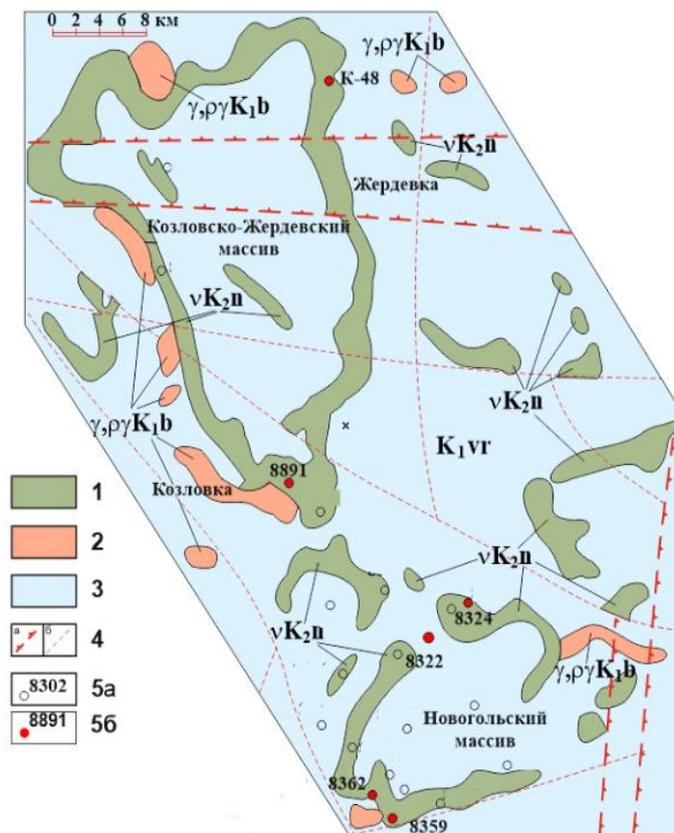


Рис. 1. Схема распространения пород новогольского комплекса [1]: 1 – тела новогольского габбродолеритового комплекса; 2 – интрузии бобровского гранит – плагиогранитового комплекса; 3 – вмещающие породы воронцовской серии; 4 – тектонические разломы: а) первого порядка б) другие; 5 – скважины: а) вскрывшие фундамент, б) из которых исследовались образцы. [Fig. 1. Distribution scheme of rocks of the Novogol'skiy complex [1]: (1) – bodies of the novogol'skiy gabbrodolerite complex; (2) – intrusions of the Bobrovsky granite – plagiogranite complex; (3) – host rocks of the Vorontsov series; (4) – tectonic faults: a) first order b) others; (5) – wells: a) those who opened the foundation, b) from which samples were examined.]

Методика исследований

На первом этапе статистический анализ данных выполнялся по стандартной методике – для каждого петрофизического параметра были построены вариацион-

ные кривые и рассчитаны основные статистические моменты. Первичная статистическая обработка позволила исключить нехарактерные значения и сформировать статистически однородные выборки данных,

которые затем были проанализированы с помощью МГУА, эффективность использования которого для анализа петрофизических данных подтверждена результатами многочисленных исследований, выполненных на кафедре геофизики Воронежского государственного университета [8–12]. Целью исследования было получить структурно параметрические уравнения (модели), связывающие петрофизические и пространственные атрибуты. Численная реализация метода была выполнена с помощью уникального программного обеспечения, разработанного на кафедре геофизики [13].

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим полученные результаты. Значения плотности изменяются в пределах от 2650 до 3680 кг/м³, при среднем значении 2980 кг/м³. Асимметрия вариационной кривой и достаточно широкий спектр значений, с одной стороны, связаны с наличием небольшой группы образцов с пониженной плотностью, которая определяется трещиноватостью пород и заполнением отдельных трещин кальцитом (2710 кг/м³) и кварцем (2600 кг/м³). Присутствие в выборке образцов с высокой плотностью объясняется наличием в них акцессорных и рудных минералов.

Магнитная восприимчивость изменяется в диапазоне от 4.81 до 61.14·10⁻³ ед.СИ со средним значением 20.86·10⁻³ ед.СИ и стандартным отклонением 8.21·10⁻³ ед.СИ. Наблюдаемая незначительная правая асимметрия связана с изменением содержания акцессорных железосодержащих минералов (титаномagnetит, вторичные амфиболы).

Скорость продольных волн изменяется в пределах от 4190 до 7174 м/с, среднее значение составляет 6343 м/с, а стандартное отклонение 350 м/с. Асимметрия распределения обусловлена трещиноватостью образцов с развитием по трещинам кальцита и кварца.

Поскольку для плотности и скорости распространения упругих волн мы ориентируемся на нормаль-

ный закон распределения, исходя из соображений получения максимально статистически однородной выборки данные для 24 образцов с аномально низкими значениями плотности (меньше 2920 кг/м³) и/или скорости (меньше 5600 м/с) были исключены из рассмотрения.

В результате была сформирована входная таблица данных для 246 образцов. В качестве зависимой переменной была использована плотность горных пород, а в качестве переменных-аргументов – географические координаты скважины, глубина отбора образца, скорость распространения упругих волн и намагниченность. В результате анализа МГУА для пород новогольского комплекса были получены следующие идентификационные модели.

Модель 1 – зависимость плотности (σ) от магнитной восприимчивости (χ) и скорости упругих волн (V):

$$\sigma = 2991 - 10.85\chi + 0.0033V + 0.002\chi V \quad (1)$$

Модель 2 связывает плотность (σ) с глубиной отбора образца (H) и скоростью упругих волн (V):

$$\sigma = 1620 - 3.62H + 0.2168V + 0.0006HV \quad (2)$$

Графики экспериментальных и модельных значений плотности, рассчитанные по двум модельным уравнениям, для проверочных данных, не участвующих в формировании моделей, представлены на рис. 2.

Оценку качества полученных уравнений дает соотношение между стандартным отклонением выборки плотности (27 кг/м³) и среднеквадратичной невязкой модельных и экспериментальных данных, которая для модели 1 составила 16.6 кг/м³, а для модели 2 – 17.3 кг/м³. Обе модели получены на первом ряду селекции, для моделей второго ряда, которые описываются более сложными уравнениями, значение критерия отбора моделей ухудшается на порядок, что также служит подтверждением хорошего качества полученных зависимостей [13].

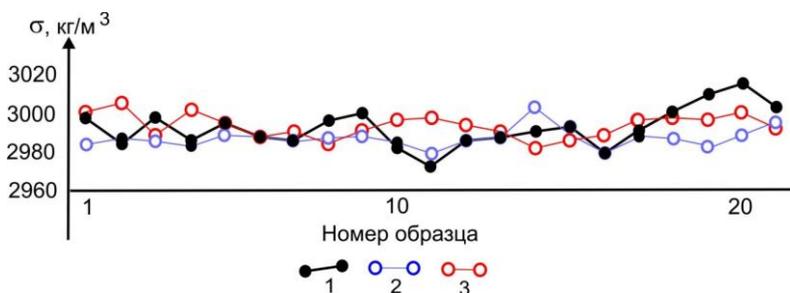


Рис. 2. Экспериментальные (1) и модельные значения плотности: 2 – рассчитанные по модельному уравнению 1; 3 – рассчитанные по модельному уравнению 2.
[Fig. 2. Experimental (1) and model density values: (2) – calculated by model equation 1; (3) – calculated by model equation 2.]

Выводы

В результате статистического анализа петрофизических параметров магматогенных образований новогольского комплекса обобщены данные о плотности, намагниченности и скорости упругих волн. Методом группового учета аргументов получены модели, которые можно рассматривать как комплексную петрофизическую характеристику пород. Модель (1) объединяет все петрофизические характеристики в едином модельном уравнении и

может быть эффективно использована в процедуре комплексной интерпретации геофизических данных с целью построения реалистичных 3D строения верхней коры. Модель (2) выявляет выраженную зависимость между плотностью, скоростью продольных волн и глубиной отбора образца, что может служить косвенным подтверждением предположения о расслоенности габбродолеритовых массивов новогольского комплекса.

Благодарности: Авторы выражают благодарность доценту А. Ю. Альбекову за предоставленный керновый материал по скважинам района исследований.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбеков А. Ю. Геология, петрология и минерагеническая оценка перспектив рудоносности габбродолеритовых массивов трапповой формации Воронежского кристаллического массива: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Воронеж: ВГУ, 2002. 24 с.
2. Жаворонкин В. И., Жилин Е. С. Петрофизические особенности магматитов новогольского комплекса (ВКМ). *Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле*: материалы конференции. М.: ИИЦ ФГБУ ИФЗ РАН, 2020. С. 79–82.
3. Ильин В. В., Харин А. Ю. Новые данные о физических свойствах магматитов новогольского комплекса. *Геофизические и петрофизические исследования: методика и интерпретация данных*: сб. ст. конференции. Воронеж: Научная книга, 2022. С. 44–47.
4. Харин А. Ю. Петрофизическая модель магматитов новогольского комплекса (Воронежский кристаллический массив). *Геофизические и петрофизические исследования – методика, результаты, интерпретация*: сб. ст. конференции. Воронеж: Научная книга, 2023. С. 65–69.
5. Глазнев В. Н., Муравина О. М., Жаворонкин В. И., Лебедев И. П., Воронова Т. А. Петроплотностная карта докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива. Воронеж: «Научная книга», 2020. 101 с.
6. Ненахов В. М., Стрик Ю. Н., Трегуб А. И., Холин В. М., Шабалин М. И. Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением (на примере Воронежского кристаллического массива). Отв. ред. Гусев Г. С., Межеловский Н. В.. М.: ГЕОКАРТ–ГЕОС, 2007. 284 с.
7. Жаворонкин В. И., Бочаров В. Л., Серебряков Е. Б. Роль разломов в формировании эндогенного оруденения на территории Воронежского кристаллического массива // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 1989. № 10. С. 24–29.
8. Муравина О. М. Возможности метода группового учета аргументов при статистической обработке петрофизических данных // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2009. № 2. С. 150–154.
9. Муравина О. М. Идентификационный анализ петрофизических характеристик пород осадочного чехла Воронежской антеклизы // *Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле*. 2013. № 2 (22). С. 20–25.
10. Муравина О. М., Пономаренко И. А., Минц М. В. Применение метода группового учета аргументов для анализа петрофизических данных // *Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле*. 2021. № 3 (51). С. 5–15. DOI: 10.31431/1816-5524-2022-3-51-5-15
11. Муравина О. М., Чернышова М. Н., Жаворонкин В. И. Идентификационный анализ ультрамафит-мафитовых интрузий мамонского комплекса Воронежского кристаллического массива // *Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле*. 2019. № 3 (43). С. 88–98. DOI: 10.31431/1816-5524-2022-3-51-5-15
12. Муравина О. М., Долгаль А. С., Аузин А. А., Пономаренко И. А., Груздев В. Н. Сферы применения современных статистических методов обработки геофизической информации // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2019. № 4. С. 79–84. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2019.4/2699>
13. Муравина О. М., Пономаренко И. А. Программная реализация метода группового учета аргументов при идентификационном моделировании геолого-геофизических данных // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2016. № 2. С. 107–110

Petrophysical parameters of gabbrodolerites of the novogolsky complex (Voronezh crystal massif)

©2023 O. M. Muravina✉, V. I. Zhavoronkin, A. Yu. Harin, I. A. Ponomarenko

Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., 1, 394018, Voronezh, Russian Federation

Abstract

Introduction: The results of statistical analysis of petrophysical parameters of magmatogenic formations of the novogolsky complex of the Voronezh crystal massif are considered. The study of gabbrodolerite massifs of the novogolsky complex is an important task due to their prospects for non-ferrous and precious metals.

Methodology: The representativeness of petrophysical data made it possible to perform not only traditional statistical analysis, but also to apply the method of group accounting of arguments in order to create identification models combining petrophysical and spatial attributes in a single characteristic equation. The initial processing made it possible to form statistically homogeneous data samples, which were then analyzed using the MGUA. To implement the method, a unique software developed at the Department of Geophysics was used.

Results and discussion: As a result of the analysis of the MGUA for rocks of the novogolsky complex, two identification models were obtained: model 1, which combines all petrophysical characteristics (density (σ), magnetic susceptibility (κ) and elastic wave velocity (V) in a single model equation $\sigma = f(\kappa, V)$ and model 2, which allows to estimate the density of rocks by sampling depth (H) and elastic wave velocity: $\sigma = f(V, H)$.

Conclusions: The obtained models can be considered as a complex petrophysical characteristic of rocks. The first model can be effectively used to solve classification problems, as well as in the procedure of complex interpretation of geophysical data in order to construct realistic 3D structures of the upper crust. The second model reveals a pronounced relationship between the density, the velocity of longitudinal waves and the depth of sampling, which can serve as an indirect confirmation of the assumption about the stratification of gabbro-dolerite massifs of the Novogolsky complex.

Keywords: petrophysics, statistics, method of group accounting of arguments.

Funding: Sources of funding for the study reported: the work was carried out with the financial support of the RNF grant 23-27-00251

For citation: Muravina O. M., Zhavoronkin V. I., Harin A. Yu., Ponomarenko I. A. Petrophysical parameters of gabbrodolerites of the novogolsky complex (Voronezh crystal massif) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 4, pp. 134–139. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/134-139>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Albekov A. Yu. *Geologiya, petrologiya i mineragenicheskaya ocenka perspektiv rudonosnosti gabbrodoleritovykh massivov trappovoj formacii Voronezhskogo kristallicheskogo massiva*: avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk [Geology, petrology and mineragenic assessment of ore bearing -

prospects of gabbrodolerite massifs of the trap formation of the Voronezh crystalline massif. Abstract Of PhD dis.]. Voronezh, 2002., 24 p. (In Russ.)

2. Zhavoronkin V. I., Zhilin E. S. Petrofizicheskie osobennosti magmatitov novogol'skogo kompleksa (VKM) [Petrophysical features of magmatites of the Novogolsky complex (VKM)].



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Olga M. Muravina, e-mail: muravina@geol.vsu.ru

Fiziko-himicheskie i petrofizicheskie issledovaniya v naukah o Zemle: materialy konferencii [Physico-chemical and petrophysical research in Earth sciences: materials of the conference]. Moscow, IIC FSBI IFZ RAN publ., 2020, pp. 79–82. (In Russ.)

3. Il'in V. V., Harin A. Ju. Novye dannye o fizicheskikh svoystvah magmatitov novogolskogo kompleksa. *Geofizicheskie i petrofizicheskie issledovaniya: metodika i interpretaciya dannyh*: sb. st. konferencii [New data on the physical properties of magmatites of the Novogolsky complex. Geophysical and petrophysical research: coll. of articles of the conference]. Voronezh, Nauchnaya kniga publ., 2022, pp. 44–47. (In Russ.)

4. Harin A. Ju. Petrofizicheskaja model' magmatitov novogolskogo kompleksa (Voronezhskij kristallicheskiy massiv). *Geofizicheskie i petrofizicheskie issledovaniya – metodika, rezul'taty, interpretaciya*: sb. st. konferencii [Petrophysical model of magmatites of the Novogolsky complex (Voronezh crystalline massif). Geophysical and petrophysical research – methodology, results, interpretation: coll. of articles of the conference]. Voronezh, Nauchnaya kniga publ., 2023, pp. 65–69. (In Russ.)

5. Iaznev V. N., Muravina O. M., Zhavoronkin V. I., Lebedev I. P., Voronova T. A. *Petroplotnostnaja karta dokembrijskogo fundamenta Voronezhskogo kristallicheskogo massiva* [Petrodensity map of the Precambrian basement of the Voronezh crystalline massif]. Voronezh, Scientific Book publ., 2020, 101 p. (In Russ.)

6. Nenahov V. M., Strik Ju. N., Tregub A. I., Holin V. M., Shabalin M. I. *Mineragenicheskie issledovaniya territorij s dvuh'yarusnym stroeniem (na primere Voronezhskogo kristallicheskogo massiva)* [Mineragenic studies of territories with a two-tiered structure (on the example of the Voronezh crystal massif)]. Ed. Gusev G. S., Mezhelovsky N. V. Moscow, GEOKART–GEOS publ., 2007, 284 p. (In Russ.)

7. Zhavoronkin V. I., Bocharov V. L., Serebrjakov E. B. Rol' razlomov v formirovanii jendogennogo orudnenija na territorii Voronezhskogo kristallicheskogo massiva [The role of faults in the formation of endogenous mineralization on the territory of the Voronezh crystalline massif]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geologija i razvedka – News of higher educational institutions. Geology and exploration*, 1989, no. 10. pp. 24–29 (In Russ.)

8. Muravina O. M. Vozmozhnosti metoda gruppovogo ucheta argumentov pri statisticheskoj obrabotke petrofizicheskikh dannyh [The possibilities of the method of group accounting of arguments

in the statistical processing of petrophysical data] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2009, no. 2, pp. 150–154 (In Russ.)

9. Muravina O. M. Identifikacionnyj analiz petrofizicheskikh harakteristik porod osadochnogo chekhla Voronezhskoj anteklizy [Identification analysis of petrophysical characteristics of sedimentary rocks from the Voronezh anteclise]. *Vestnik Kamchatskoj regional'noj organizacii Uchebno-nauchnyj centr. Serija: Nauki o Zemle – Bulletin of Kamchatka Regional Association Educational-Scientific Center. Earth Sciences*, 2013, no. 2 (22), pp. 20–25 (In Russ.)

10. Muravina O. M., Ponomarenko I. A., Minc M. V. Primenenie metoda gruppovogo ucheta argumentov dlya analiza petrofizicheskikh dannyh [Application of the method of group accounting of arguments for the analysis of petrophysical data]. *Bulletin of Kamchatka Regional Association Educational-Scientific Center. Earth Sciences*, 2021, no. 3 (51), pp. 5–15 (In Russ.) DOI: 10.31431/1816-5524-2022-3-51-5-15

11. Muravina O. M., Chernyshova M. N., Zhavoronkin V. I. Identifikacionnyj analiz ul'tramafit-mafitovyh intruzij mamonskogo kompleksa Voronezhskogo kristallicheskogo massiva [Identification analysis of ultramafic-mafic intrusions of the mamonsky complex Voronezh crystalline massif]. *Bulletin of Kamchatka Regional Association Educational-Scientific Center. Earth Sciences*, 2019, no. 3 (43), pp. 88–98 (In Russ.) DOI: 10.31431/1816-5524-2019-3-43-89-98

12. Muravina O. M., Dolgal' A. S., Auzin A. A., Ponomarenko I. A., Gruzdev V. N. Sfery primeneniya sovremennykh statisticheskikh metodov obrabotki geofizicheskoi informacii [Areas of application of modern statistical methods of processing geophysical information]. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2019, no. 4, pp. 79–84 (In Russ.) DOI: 10.17308/geology.2019.4/2699

13. Muravina O. M., Ponomarenko I. A. Programmaya realizaciya metoda gruppovogo ucheta argumentov pri identifikacionnom modelirovanii geologo-geofizicheskikh dannyh [Software implementation of the method of group accounting of arguments in identification modeling of geological and geophysical data] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2016, no. 2, pp. 107–110 (In Russ.)

Muravina Olga Michajlovna, д.т.н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: muravina@geol.vsu.ru; ORCID 0000-0003-4772-0825

Zhavoronkin Valerij Ivanovich, к.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: zhavoronkin@geol.vsu.ru; ORCID 0000-0003-0648-4117

Harin Aleksej Jur'evich, бакалавр 4 к. Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: 17.Kharin.2003.Alexey@mail.ru; ORCID 0009-0004-2189-2877

Ponomarenko Ivan Aleksandrovich, инженер, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kochuma@yandex.ru; ORCID 0000-0002-2588-3917

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Olga M. Muravina, Dr. habil. In Techn., Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: muravina@geol.vsu.ru; ORCID 0000-0003-4772-0825

Valery I. Zhavoronkin, PhD. in Geol-Min, Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: zhavoronkin@geol.vsu.ru; ORCID 0000-0003-0648-4117

Aleksey Yu. Harin, Undergraduate student, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: 17.Kharin.2003.Alexey@mail.ru; ORCID 0009-0004-2189-2877

Ivan A. Ponomarenko, Engineer, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: kochuma@yandex.ru; ORCID 0000-0002-2588-3917

Authors have read and approved the final manuscript.