

УДК 550.380.14

КАРТИРОВАНИЕ ВУЛКАНО-КУПОЛЬНЫХ СТРУКТУР ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ПОИСК МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АЭРОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

© 2019 г. Ю.П. Горячев

*Федеральное государственное бюджетное учреждение
“Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского”,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Изложена методика анализа распределения точек с экстремальными значениями эффективной намагниченности, полученными в результате решения обратной задачи по материалам высокоточной аэромагнитной съемки, и показана возможность ее практического применения. Для изучения строения вулканических структур и выработки рекомендаций для их картирования, была выполнена обработка магнитных данных с использованием интерпретационной системы “Балтика”. Особенностью алгоритма формализованного вычисления физических свойств среды, реализованного в данной системе, является использование градиентной модели. Принято, что физические свойства модели по горизонтали изменяются по полиномиальному закону, а по вертикали – по кусочно-линейному. На основе полученного распределения выделялись точки с экстремальными значениями эффективной намагниченности и соответствующие им эквивалентные области.

Приведены результаты решения обратной задачи магнитного потенциала для Наранского участка, расположенного в северо-западной части листа М-48-Х к западу от г. Ташир (Западное Забайкалье), которые позволяют прогнозировать особенности геологического разреза, формируемого горными породами с разными магнитными свойствами, и картировать вулcano-купольные структуры.

Ключевые слова: аэромагнитная съемка, решение обратной задачи, интерпретационная система “Балтика”, вулканические структуры.

Введение

В соответствии с существующими представлениями, на позднепалеозойском этапе развития территории Западного Забайкалья рудопроизводящими и рудоносными являются интрузии нефелиновых сиенитов боргойского комплекса (редкие земли, нефелин) и гранитоидов соготинского и бичурского комплексов (молибден, уран, редкие земли), приуроченные к вулcano-купольным структурам [Макарьев и др., 2018], к числу которых относится Алтайская вулcano-купольная структура (ВКС), расположенная на южных склонах хребта Малый Хамар-Дабан в междуречье Сопшиленты, Астая и Нижнего Астая и имеющая по разным источникам площадь от 60 до 80 км². По форме названная структура слегка вытянута в субширотном направлении (12 на 7 км) и сложена перемежающимися массивными слабофлюидалными и сферолитовыми лавами, реже лавобрекчиями трахириолитов и их туфов (рис. 1); установленная мощность вулканитов превышает 500 м. В центральной части вулканической структуры трахириолиты прорваны крупным (7×4 км) штокообразным телом сиенит- и граносиенит-порфиоров [Макарьев и др., 2018]. Для сиенит-порфиоров характерна “засоренность” мелкими

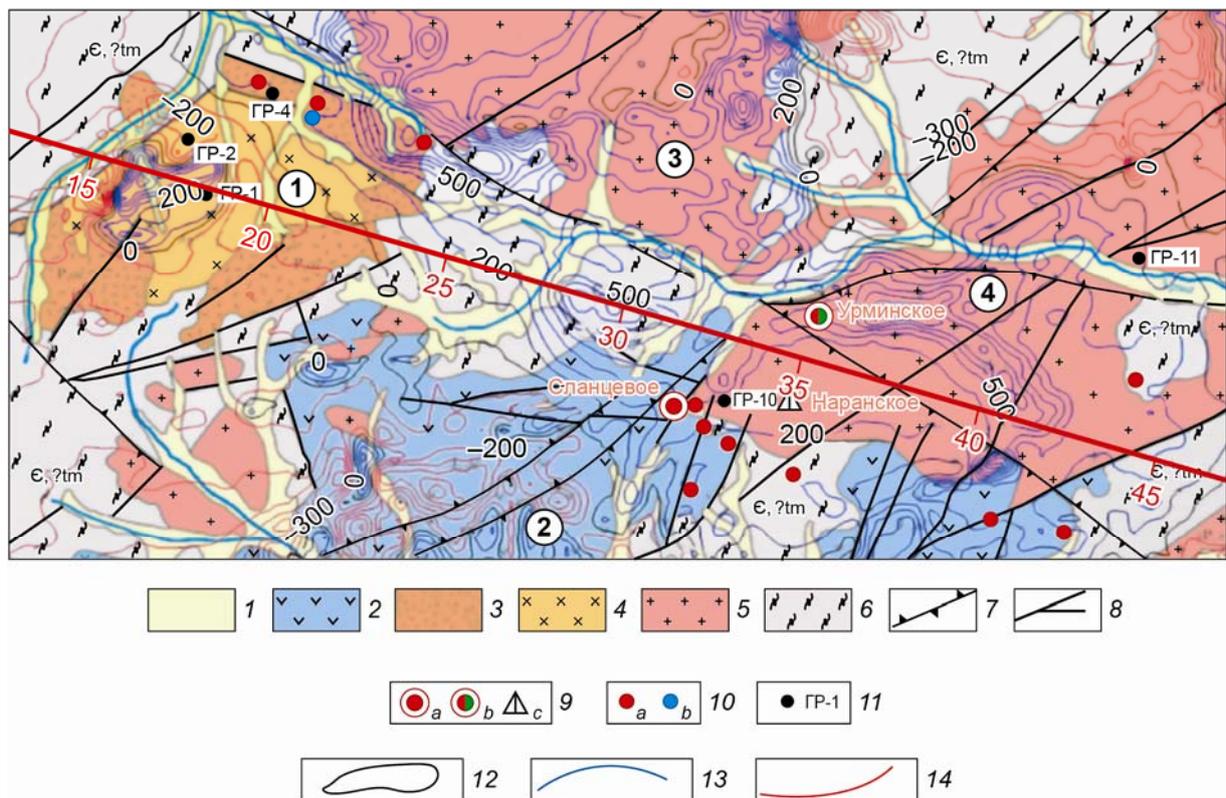


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Наранского участка (лист М-48-Х) по [Макарьев и др., 2018]), совмещенный с картой изолиний магнитного поля ΔT , нТл. Красная линия – интерпретационный профиль 1 (цифры – расстояние вдоль профиля R , км)

1 – нерасчлененные четвертичные отложения; 2 – ичитуйская свита: конгломераты, туфогравелиты, трахиандезиты (J1-2iç); 3–5 – алетуй-соготинская вулканоплутоническая ассоциация ВПА: алетуйская свита (3): трахириолиты, трахиты и их лавобрекчии (P1al); субвулканические образования (4): сиенит-порфиры, монзонит-порфиры (ξ лP1al); соготинский плутонический комплекс, третья фаза (5): граниты, лейкограниты, граносиениты (γ P1s); 6 – темникская свита: кристаллические сланцы, мраморизированные известняки (Є1?tm); 7 – региональные разломы; 8 – прочие разрывные нарушения; 9 – месторождения урана (a), бериллия и урана (b), флюорита (c); 10 – рудопоявления урана (a) и полиметаллов (b); 11 – места отбора геохронологических проб с указанием номера; 12–14 – изолинии магнитного поля: нулевые (12), положительные (13), отрицательные (14). Кружки с цифрами 1–4 – основные вулканоплутонические структуры исследуемой территории: Астайская (1), Северо-Боргойская (2), Урминский массив (3), Наранский массив (4)

Fig. 1. Fragment of the geological map of the Naryn area (sheet M-48-X) by [Makariev et al., 2018]), combined with a map of magnetic field isolines ΔT , nTl. Red line – interpretation profile 1 (figures – distance along the profile R , km). 1 – unconsolidated quaternary deposits; 2 – Ichituiskaya series of strata: conglomerates, tuff gravelstones, trachyandesite (J1-2iç); 3–5 – Aletuy-Sogotinskaya volcano-plutonic association: Aletuiskaya series of strata (3): trachyrhyolites, trachytes and their lavobrekchiya (P1al); subvolcanic (4): syenite-porphyrries, montsonit-porphyrries (ξ лP1al); Sogotinskiy complex, the third phase (5): granites, leucogranite, granosyenites (γ P1s); 6 – Temnikovskaya geological series of strata: crystal slates, marble limestones (Є1?tm); 7 – regional breaks; 8 – other explosive violations; 9 – deposit of uranium (a), beryllium and uranium (b), fluorite (c); 10 – ore occurrences of uranium (a) and polymetals (b); 11 – places of selection of geochronological tests with the indication of number; 12–14 are isolines of magnetic field: zero (12), positive (13), negative (14). Circles with numbers 1–4 are the main volcano-plutonic structures of the explored territory: Astayskaya (1), North Borgoykaya (2), Urminsky massif (3), Naransky array (4)

обломками вмещающих вулканитов и пород фундамента вулcano-купольной структуры, что указывает на вероятную экстрезивную (жерловую) природу этого тела.

Для изучения строения вулканических структур и выработки рекомендаций по их картированию данные аэромагнитных съемок были обработаны с применением интерпретационной системы “Балтика” [Горячев, 1998]. Особенностью реализованного в этой системе алгоритма формализованного вычисления физических свойств среды является использование градиентной модели строения нижнего полупространства. Принято, что физические свойства модели по горизонтали изменяются согласно полиномиальному закону, а по вертикали – кусочно-линейному. В общем виде задача сводится к минимизации системы сглаживающих функционалов

$$M^{\alpha} [z_l, \tilde{u}, \tilde{A}] = \|\tilde{A} \bullet z_l - \tilde{u}\|^2 + \alpha * \|z_l\|^2, \quad (1)$$

$$M^{\alpha} [z_n, \tilde{u}, \tilde{F}] = \|\tilde{F} \bullet z_n - \tilde{u}\|^2 + \alpha * \Omega, \quad (2)$$

где $M^{\alpha} [z_l, \tilde{u}, \tilde{A}]$ и $M^{\alpha} [z_n, \tilde{u}, \tilde{F}]$ – функционалы невязки решения линейной и нелинейной обратной задачи; z_l и z_n – соответственно векторы искомого параметров линейной и нелинейной обратной задачи; α – параметр регуляризации; Ω – стабилизирующий функционал; \tilde{A} , \tilde{F} – соответственно линейный и нелинейный операторы; \tilde{u} – вектор измеренного потенциального поля. Вычисляемые для принятой модели значения z_l и z_n носят названия “эффективной” намагниченности.

Фактически задача сводится к определению координат точек с экстремальными значениями эффективной намагниченности в нижнем полупространстве и их эквивалентных областей.

Результаты решения обратной задачи для интервала 10–28 км профиля 1 (положение профиля см. на рис. 1), пересекающего вулканическую структуру, показаны на рис. 2. По геологическим данным в центральной части вулканической структуры установлено крупное штокообразное тело сиенит- и граносиенит-порфиров [Макарьев и др., 2018]. Данные инверсии позволяют рассматривать жерловую часть структуры как тело с размерами не более 3×1 км, которое является более магнитным по сравнению с вмещающими породами.

Для удобства сопоставления результатов на рис. 2 на фрагмент геологической карты наложен геофизический разрез, представленный точками с экстремальными значениями эффективной намагниченности и границами существования эквивалентных решений. Над разрезом показаны графики аномалии магнитного поля (ΔT , нТл) – наблюдаемой (синяя кривая) и подобранной (красная). Геометрически обсуждаемое магнитное тело представляет собой в разрезе серповидный объект, выгнутый в восточном направлении; его самая восточная часть залегает на глубине от 0.8 до 1.3 км и имеет наибольшие значения эффективной намагниченности в диапазоне $(100–150) \cdot 10^{-2}$ А/м.

При приближении точек с экстремальными значениями эффективной намагниченности к дневной поверхности и с увеличением глубины намагниченность уменьшается до $(50–100) \cdot 10^{-2}$ А/м, составляя в приповерхностной части не более $30 \cdot 10^{-2}$ А/м. Максимальные размеры штокообразного тела, оцененные по области эквивалентных решений, в верхней части разреза не превышает 2.5 км.

По обе стороны от выделенного серпообразного жерлового магнитного тела в верхней части разреза картируются пологозалегающие слабомагнитные объекты, выделяемые по экстремальным значениям эффективной намагниченности $(10–50) \cdot 10^{-2}$ А/м. Предположительно, они представляют собой перемежающиеся массивные, слабофлюидальные и сферолитовые лавы, лавобрекчии трахириолитов и их туфов.

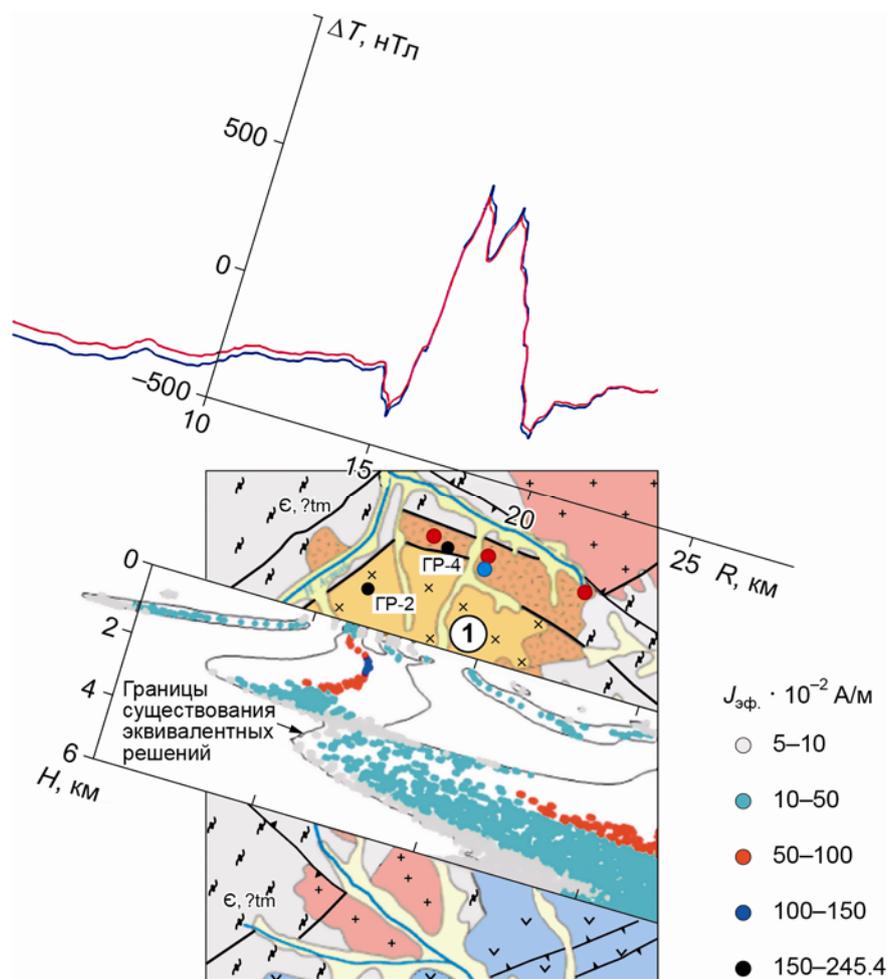


Рис. 2. Результаты решения обратной задачи по профилю 1 в интервале 10–28 км. Цвет точек на разрезе соответствует разным значениям эффективной намагниченности. Над разрезом – графики наблюдаемой (синяя кривая) и подобранной (красная) аномалий магнитного поля (ΔT , нТл). Условные обозначения к геологической карте см. на рис. 1

Fig. 2. Results of the solution of the inverse problem in the interval of 10–28 km of profile 1. Color of points on the section corresponds to different values of effective magnetization. Above the section are plots of observed (blue curve) and fitted (red) anomalies of magnetic field (ΔT , nTl). Notations to the geological map see in Fig. 1

Характер распределения точек с экстремальными значениями эффективной намагниченности в разрезе отвечает образу вулcano-купольных структур, что позволяет использовать получаемые результаты как картировочный признак для выделения подобных объектов, представляющих интерес в связи с приуроченностью к ним ряда полезных ископаемых.

Результаты решения обратной задачи для интервала 35–46 км профиля 1 приведены на рис. 3. Этот участок профиля пересекает Наранский массив, сложенный в своей южной части преимущественно лейкогранитами третьей фазы соготинского комплекса. Субвертикальное магнитное интрузивное тело, расположенное в верхах разреза, как это можно видеть, картируется точками с экстремальными значениями эффективной намагниченности от $50 \cdot 10^{-2}$ А/м до $100 \cdot 10^{-2}$ А/м.

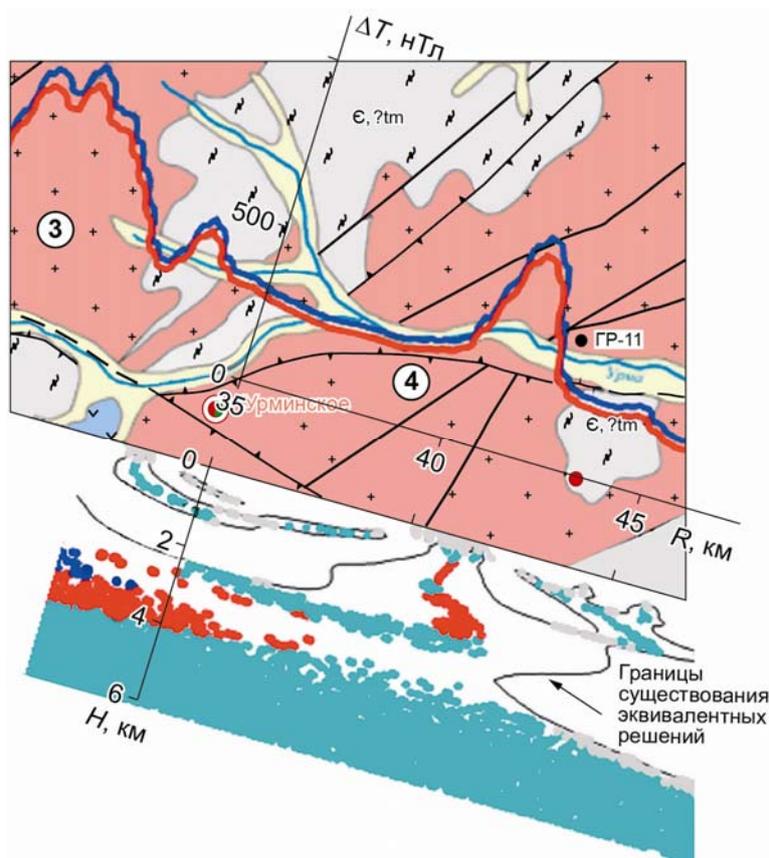


Рис. 3. Результаты решения обратной задачи по профилю 1 в интервале 35–46 км. Условные обозначения и комментарии см. на рис. 2

Fig. 3. Results of the solution of the inverse problem in the interval of 35–46 km of profile 1. Notations and comments see in Fig. 2

Существенное различие геофизических разрезов, приводимых на рис. 2, 3, заключается в том, что для Астайской вулcano-купольной структуры точки с экстремальными значениями эффективной намагниченности $(10-50) \cdot 10^{-2}$ А/м группируются в интервале глубин 2–3 км, как бы формируя основание вулcano-купольной структуры (см. рис. 2), а для Наранского массива (см. рис. 3) эти точки расположены на значительно больших глубинах. В крыльевых частях структуры, представленной на рис. 2, расположение точек с экстремальными значениями эффективной намагниченности аналогично наблюдаемому для Астайской вулcano-купольной структуры. Отмеченное может служить основанием для отнесения рассматриваемой части Наранского массива к структурам купольного типа (см. рис. 3).

Результаты решения обратной задачи для всего профиля 1 приведены на рис. 4. В центральной части профиля между Астайской вулcano-купольной структурой и Наранским массивом (интервал 22–35 км) точками с относительно низкими экстремальными значениями эффективной намагниченности – $(10-50) \cdot 10^{-2}$ А/м – картируется структура синклинального типа. Выше этой структуры (до глубины 0.8 км от дневной поверхности) наблюдается чередование областей, заполняемых точками с относительно повышенными экстремальными значениями эффективной намагниченности – $(50-100) \cdot 10^{-2}$ А/м и $(100-150) \cdot 10^{-2}$ А/м.

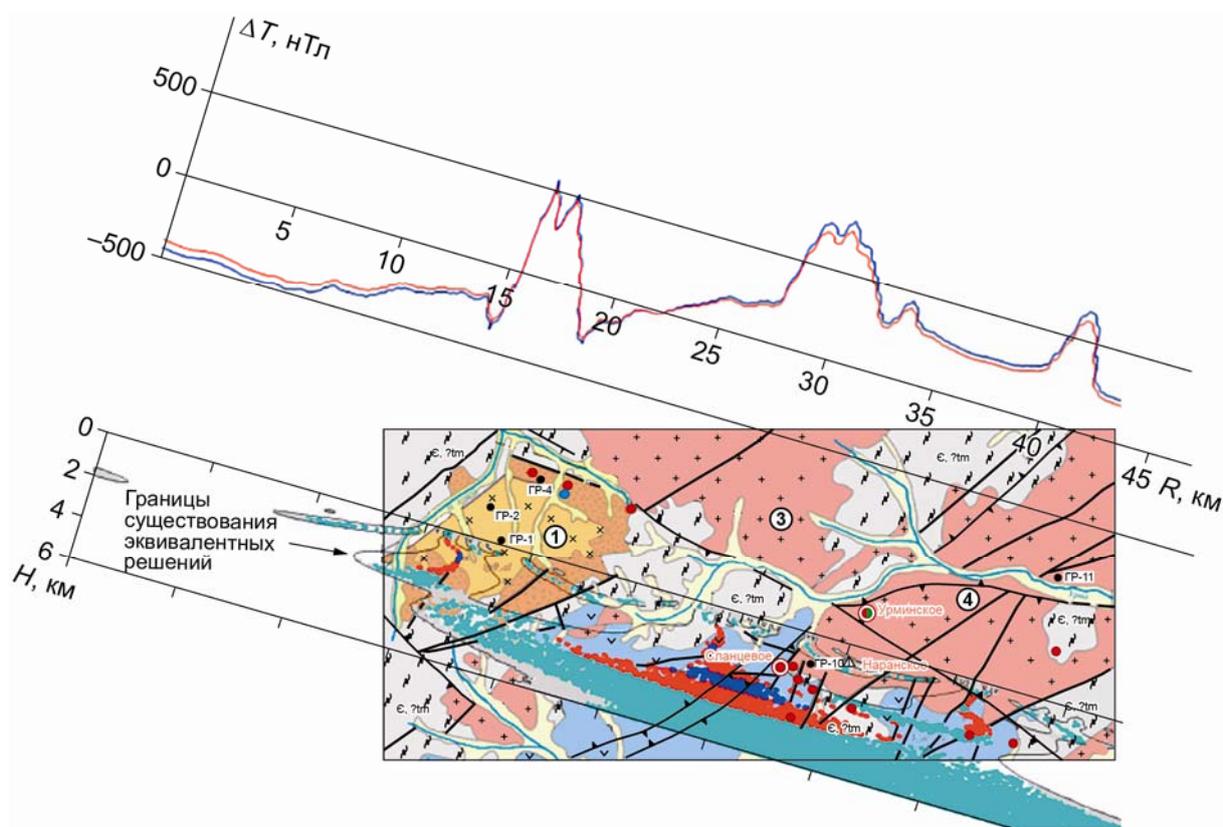


Рис. 4. Результаты решения обратной задачи для всего профиля 1. Условные обозначения и комментарии см. на рис. 2

Fig. 4. Results of the solution of the inverse problem for the entire profile 1. Notations and comments see in Fig. 2

Отмеченное чередование может быть обусловлено существованием плутонического объекта, связанного с рассматриваемыми интрузиями Астайской вулcano-купольной структуры и Наранского массива.

Таким образом, анализ геометрических особенностей распределения точек с экстремальными значениями эффективной намагниченности, эквивалентных областей и значений эффективной намагниченности дает возможность прогнозировать наличие вулcano-купольных структур в исследуемом районе. С этими структурами могут быть связаны интрузии нефелиновых сиенитов боргойского комплекса, гранитоидов соготинского и бичурского комплексов, перспективные на такие полезные ископаемые, как нефелин, молибден, уран, редкие и редкоземельные металлы и др.

Литература

- Горячев Ю.П. Система интерпретации аэромагнитных данных и ее использование для картирования нефтегазоперспективных объектов на севере Западно-Сибирской плиты // Прикладная геофизика. М.: Недра, 1998. Вып. 132. С.167–182.
- Макарьев Л.Б., Рассолов А.А., Моргун Э.В., Львов П.А., Сергеев С.А., Шарпенко Л.Н. Новые данные о возрасте и составе боргойского комплекса и алентуй-соготинской вулcano-плутонической ассоциации Западно-Забайкальского пояса (Таширская площадь, Республика Бурятия) // Региональная геология и металлогения. 2018. № 73. С.50–59.

Сведения об авторе

ГОРЯЧЕВ Юрий Павлович – кандидат геолого-минералогических наук, главный геофизик, Федеральное государственное бюджетное учреждение “Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского” (ВСЕГЕИ). 199106, Санкт-Петербург, Средний проспект, д. 74. Тел.: +7(812) 328-91-45. E-mail: Yuriy_Goryachev@vsegei.ru

**MAPPING OF VOLCANIC STRUCTURES
OF WESTERN-TRANSBAIKALIA PROMISING
FOR THE SEARCH OF MINERAL DEPOSITS BASED
ON THE ANALYSIS OF AEROMAGNETIC DATA**

Yu.P. Goryachev

*Federal State Budgetary Institution “A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute”,
St. Petersburg, Russia*

Abstract. The method for analyzing the distribution of points with extreme values of the effective magnetization obtained as a result of solving the inverse problem using materials of high-precision aeromagnetic survey is presented. To study the structure of volcanic structures and make recommendations for their mapping, the processing of magnetic data was performed using the Baltika interpretation system. A feature of the algorithm for formalized calculation of the physical properties of the medium implemented in this system is the use of the gradient model. It is accepted that the physical properties of the model in the horizontal direction change according to a polynomial law, and in the vertical direction – in a piecewise linear manner. On the basis of the obtained distribution, points with extreme values of the effective magnetization and the corresponding equivalent regions were distinguished.

The results of solving the inverse problem of magnetic potential, obtained for the Naran region, are presented. These data allow us to predict the features of the geological section formed by rocks with various magnetic properties and to map volcanic-dome structures.

Keywords: aeromagnetic survey, solving of the inverse problem, interpretation system “Baltika”, volcanic structures.

References

- Goryachev Yu.P., The system of interpretation of aeromagnetic data and its use for mapping oil and gas perspective objects in the north of the West Siberian Plate, *Applied Geophysics*, 1998, no. 132, pp. 167-182. (In Russian).
- Makarev L.B., Rassolov A.A., Morgun E.V., Lvov P.A., Sergeev S.A., Sharpenok L.N., New data on the age and the composition of Borgoyanskiy complex and Alentuy-Sogotinskaya volcano-plutonic association of Western-Transbaikalian belt (Tashirskaya Area, Republic of Buriatia), *Region. geologiya i metallogeniya*, 2018, no. 73, pp. 50-59. (In Russian).