

УДК 550.380.14

DOI: 10.24930/2500-302X-2025-25-1-156-167

Исследование магнитных характеристик горных пород Щучьинского рудного района (Полярный Урал)

Н. А. Белоглазова, У. В. Вирьясова, Г. В. Иголкина

Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100, e-mail: bna408@mail.ru

Поступила в редакцию 13.05.2024 г., принята к печати 28.06.2024 г.

Объект исследования. Изучаемая площадь находится в пределах Щучьинской зоны, которая располагается на северном окончании Восточно-Уральской мегазоны. Известные в Щучьинском рудном районе месторождения и рудопроявления железа скарново-магнетитовой формации группируются в два рудных поля – Юньягинское и Тальбейское. Юньягинское рудное поле представлено эффузивно-осадочной толщей, сложенной пироксеновыми порфиритами и пироксен-плаггиоклазовыми порфиритами и их туфами. Тальбейское рудное поле размещается в габброидах Малыкского блока, на контакте с вулканогенными породами раннего силура и прослеживается субмеридионально вдоль Харутского глубинного разлома. **Цель.** Анализ и сравнение магнитных свойств горных пород Юньягинского и Тальбейского рудных полей по данным скважинной магнитометрии, проведенной в скважинах Щучьинского рудного района. В ходе исследования данной площади нами изучены две скважины в этих рудных полях. **Результаты.** По диаграммам магнитной восприимчивости горных пород, горизонтальной и вертикальной составляющим магнитного поля проведено расчленение геологического разреза, определены элементы залегания и рассчитаны вертикальные составляющие естественной полной, естественной остаточной и индуцированной намагниченностей горных пород, подсеченных скважиной. **Выводы.** Интерпретация результатов скважинной магнитометрии выявила широкую дифференциацию магнитных свойств горных пород Юньягинского и Тальбейского рудных полей. Сделан вывод о том, что на Юньягинском рудном поле источниками магнитных аномалий выступают приповерхностные магнитные тела с высоким содержанием магнетитового железа, но небольшой мощности. На Тальбейском рудном поле основным источником аномалии являются бедные магнетитовые руды (содержание железа 10–15 мас. %), связанные с базальтовыми порфиритами, заполняющими синклиналь, образованную скарнами. Изучение магнитных характеристик рудных подсечений позволило выделить различия в типах оруденения как в пределах одной скважины, так и в разных рудных полях.

Ключевые слова: скважинная магнитометрия, Полярный Урал, Щучьинский рудный район, индуцированная намагниченность, остаточная намагниченность, магнитное поле, магнитная восприимчивость, магнетит

Investigation of the magnetic characteristics of rocks of the Shchuchinsky ore region (Polar Ural)

Nadezhda A. Beloglazova, Ulyana V. Viryasova, Galina V. Igolkina

Yu.P. Bulashevich Institute of Geophysics, UB RAS, 100 Amundsena st., Ekaterinburg 620016, Russia, e-mail: bna408@mail.ru

Received 13.05.2024, accepted 28.06.2024

Research subject. The studied area is located within the Shchuchinsk zone situated at the northern end of the East Ural megazone. The deposits and ore occurrences of the skarn-magnetite formation known in the Shchuchinsk ore region are grouped into two ore fields, Yunyaginskoe and Talbeyskoe. The Yunyaginskoe ore field is represented by an effusive sedimentary stratum composed of pyroxene porphyrites and pyroxene-plagioclase porphyrites and their tuffs. The Talbeyskoe ore field is located in the gabbroids of the Malyk block, on the contact with early Silurian volcanogenic rocks and is traced submeridionally along the Kharut deep fault. **Aim.** Analysis and comparison of the magnetic properties of rocks from the Yunyaginskoe and Talbeyskoe ore fields according to borehole magnetometry by the example of two wells of the Shchuchinsk ore region. **Results.** According to the diagrams of rock magnetic susceptibility and the horizontal and vertical components of the magnetic field, the geological section was subdivided, the elements of occurrence were determined and the vertical components of the natural total, residual and induced magnetization of rocks cut by the well were calculated. **Conclusions.** The results of borehole magnetometry revealed a wide differentiation of the magnetic proper-

Для цитирования: Белоглазова Н.А., Вирьясова У.В., Иголкина Г.В. (2025) Исследование магнитных характеристик горных пород Щучьинского рудного района (Полярный Урал). *Литосфера*, **25**(1), 156–167. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-1-156-167>. EDN: COCGLB

For citation: Beloglazova N.A., Viryasova U.V., Igolkina G.V. (2025) Investigation of the magnetic characteristics of rocks of the Shchuchinsky ore region (Polar Ural). *Lithosphere (Russia)*, **25**(1), 156–167. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-1-156-167>. EDN: COCGLB

ties of rocks of the Yunyaginskoe and Talbeyskoe ore fields. The sources of magnetic anomalies in the Yunyaginsky ore field are thin near-surface magnetic bodies with a high content of magnetite iron. In the Talbeyskoe ore field, the main source of the anomaly is poor magnetite ores (iron content 10–15 wt %) associated with basalt porphyrites filling the syncline formed by skarns. The study of the magnetic characteristics of ore sub-sections made it possible to identify differences in the mineralization types both within the same well and in different ore fields.

Keywords: borehole magnetometry, Polar Urals, Shchuchinsk ore region, induced magnetization, residual magnetization, magnetic field, magnetic susceptibility, magnetite

ВВЕДЕНИЕ

Скважинная магнитометрия – один из наиболее эффективных методов при поисках и разведке месторождений, связанных с магнитной минерализацией. Дифференцированность магнитных свойств и широкое распространение ферромагнитных минералов в горных породах являются основой для использования скважинной магнитометрии при выделении магнитных пород, разделении их на комплексы и петрографические типы (Бахвалов и др., 1992). Преимущество метода заключается в том, что горные породы изучаются в естественном залегании. В скважинной магнитометрии, наряду с измерением магнитной восприимчивости, измеряется напряженность земного магнитного поля, что дает дополнительную информацию о геологическом строении околоскважинного пространства. По данным магнитной восприимчивости изучаются породы, образующие стенки скважины в слое толщиной несколько сантиметров. По измерениям магнитного поля исследуется околоскважинное пространство в радиусе десятков и даже сотен метров. Скважинная магнитометрия широко используется для решения широкого круга геологических задач, к числу которых относятся поиски магнитных рудных тел в околоскважинном пространстве, определение элементов залегания, формы и размеров намагнитченных рудных тел и их оконтуривание при подсчете запасов, расшифровка природы магнитных аномалий (Магниторазведка..., 1990), т. е. решаются задачи, аналогичные задачам наземной магниторазведки. Метод особенно ценен тем, что позволяет ускорить прирост запасов месторождений за счет выявления новых залежей в околоскважинном пространстве. Возможность получения информации о намагнитченности (полной, остаточной и индуцированной) горных пород непосредственно внутри горного массива значительно повышает эффективность метода при изучении

зональности контактово-измененных пород и процессов рудогенеза, выделении типов руд, связанных с разновременными генерациями магнитной минерализации (Белоглазова и др., 2014).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение элементов залегания рудных тел

Определение элементов залегания магнитных тел по результатам скважинной магнитометрии имеет важное значение при исследованиях одиночных скважин, таких как сверхглубокие, опорно-параметрические, морского бурения, когда основой для построения геологического разреза являются результаты изучения кернового материала и общие региональные геологические представления. При решении рассматриваемой задачи анализируются аномалии полного или частичного пересечения, выделенные на диаграммах составляющих геомагнитного поля. В обоих случаях желательно определить форму тела, его размеры, положение в пространстве и тем самым уточнить геологические разрезы. При определении формы подсеченного тела используются все сведения о геологическом строении исследуемого участка и результаты интерпретации наземных и воздушных съемок. В настоящее время определение элементов залегания пластообразных тел по измерениям внутреннего и внешнего магнитных полей проводится по методикам, предложенным В.Н. Пономаревым и А.Н. Бахваловым (1964; Магниторазведка..., 1990). Методики основаны на известном положении о непрерывности магнитной индукции (B) при переходе из среды с одной магнитной проницаемостью в среду с другой магнитной проницаемостью (Говорков, 1960; Смайт, 1954) и вычислении аномальных значений векторов напряженности магнитного поля во взаимно ортогональных плоскостях. Исходными данными являются значения ано-

мального магнитного поля снаружи и внутри магнитного пласта.

Определение намагниченности горных пород

Намагниченность вскрытых скважинами пород основана на закономерной связи магнитных аномалий с геологическими факторами: литологическим составом пород, степенью их изменения и структурно-текстурными особенностями, типом и концентрацией магнитных минералов и т.д. Возможность получения информации о намагниченности (полной, остаточной и индуцированной) горных пород в естественном залегании значительно повышает эффективность скважинной магнитометрии при изучении зональности контактово-измененных пород и процессов рудогенеза, выделения типов руд, связанных как с разновременными генерациями магнитной минерализации, так и с технологическими особенностями при последующем обогащении, а также при построении палеомагнитных реконструкций (Магниторазведка..., 1990; Иголкина, 2002, 2007). При проведении скважинной магнитометрии измеряют не только внешнее магнитное поле, но и поле внутри тела. Исходными данными для вычисления намагниченности горных пород в естественном залегании являются значения магнитной восприимчивости, вертикальной составляющей геомагнитного поля, модуля и азимута его горизонтальной составляющей, которые могут быть получены при работе с комплексным скважинным магнитометром-инклинометром типа МИ-3803М (Астраханцев, Белоглазова, 2012).

Для вычисления намагниченности горных пород, вскрытых скважиной, применялась методика, предложенная В.Н. Пономаревым и А.Н. Бахваловым (1975) с дополнениями, внесенными работами (Бахвалов и др., 1992; Иголкина, Белоглазова, 1996). Основное положение этой методики сводится тому, что по кривой магнитной восприимчивости и кривым горизонтальной и вертикальной составляющих геомагнитного поля выделяются интервалы магнитных пород в разрезе скважины, в пределах которых магнитное поле можно считать постоянным. Мощность этих участков может быть сколь угодно мала, вплоть до шага дискретизации зарегистрированных кривых (0.1 м).

Естественная намагниченность горных пород является векторной суммой индуцированной и остаточной намагниченностей:

$$\vec{I}_n = \vec{I}_r + \vec{I}_j,$$

при этом $I_{iz} = \alpha Z_a$ и $I_{ih} = \alpha H_a$ – вертикальная и горизонтальная составляющие индуцированной намагниченности горных пород,

α – магнитная восприимчивость горных пород, Z_a и H_a – аномальные значения вертикальной и горизонтальной составляющих геомагнитного поля,

I_{iz} и I_{ih} – вертикальная и горизонтальная составляющие остаточной намагниченности горных пород.

Так как при расчетах намагниченности используется $Z_a = Z_{изм} - Z_0$ и $H_a = H_{изм} - H_0 \cos A_{Низм}$, то очень важное значение имеет выбор значений составляющих нормального геомагнитного поля (Z_0 и H_0). Азимут измеренной горизонтальной составляющей учитывается также и при вычислении остаточной горизонтальной намагниченности: $I_{гн} = I_{гн} - I_{гн} \cos A_{Низм}$ (Белоглазова и др., 2014).

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Скарново-магнетитовые месторождения Урала весьма разнообразны по геолого-структурным и морфологическим особенностям, связи с интрузивным магматизмом, характеру распределения в пределах рудных зон и располагаются в виде линейно-вытянутых рудных поясов или зон. Поясовое чередование структурно-формационных зон отражает линейно-складчатое строение Урала. Месторождения в пределах рудных зон распределены неравномерно или дискретно в виде отдельных рудных районов или рудных узлов, связанных с центрами базальтоидного магматизма. Эти центры представляют собой преимущественно отдельные структурно-тектонические блоки, ограниченные, как правило, разрывными нарушениями. Строение таких блоков заметно различается (Месторождения..., 1999). Железорудные месторождения восточного склона Полярного Урала обособлены с севера на юг в Щучинском, Собском и Войкарском синклиналиях, которые являются рудными районами и составляют северную часть Тагил-Магнитогорского прогиба. Изучаемая площадь располагается в пределах Щучинской зоны, которая располагается на северном окончании Восточно-Уральской мегазоны. На западе она ограничивается региональным разломом, входящим в систему Главного Уральского разлома. В строении зоны участвуют осадочные и вулканогенно-осадочные образования ордовика, силура, девона и карбона, прорванные разновозрастными интрузиями различного состава (Воронов, Бабушкин, 2002).

В формировании железоскарновых объектов, связанных с последующими контактово-метасоматическими, гидротермальными процессами, обусловившими сульфидную минерализацию, важную роль имели тектонические явления. Глубинные и сопряженные с ними разломы (Юньгинский и Харутский) являлись, по-видимому, рудоконтролирующими, а контактово-метасоматические и гидротермальные зоны – рудогенерирующими. Известные в Щучинском рудном районе месторождения и рудопроявления железа скарново-магнетитовой формации группируются в два рудных поля – Юньгинское и Тальбейское (рис. 1).

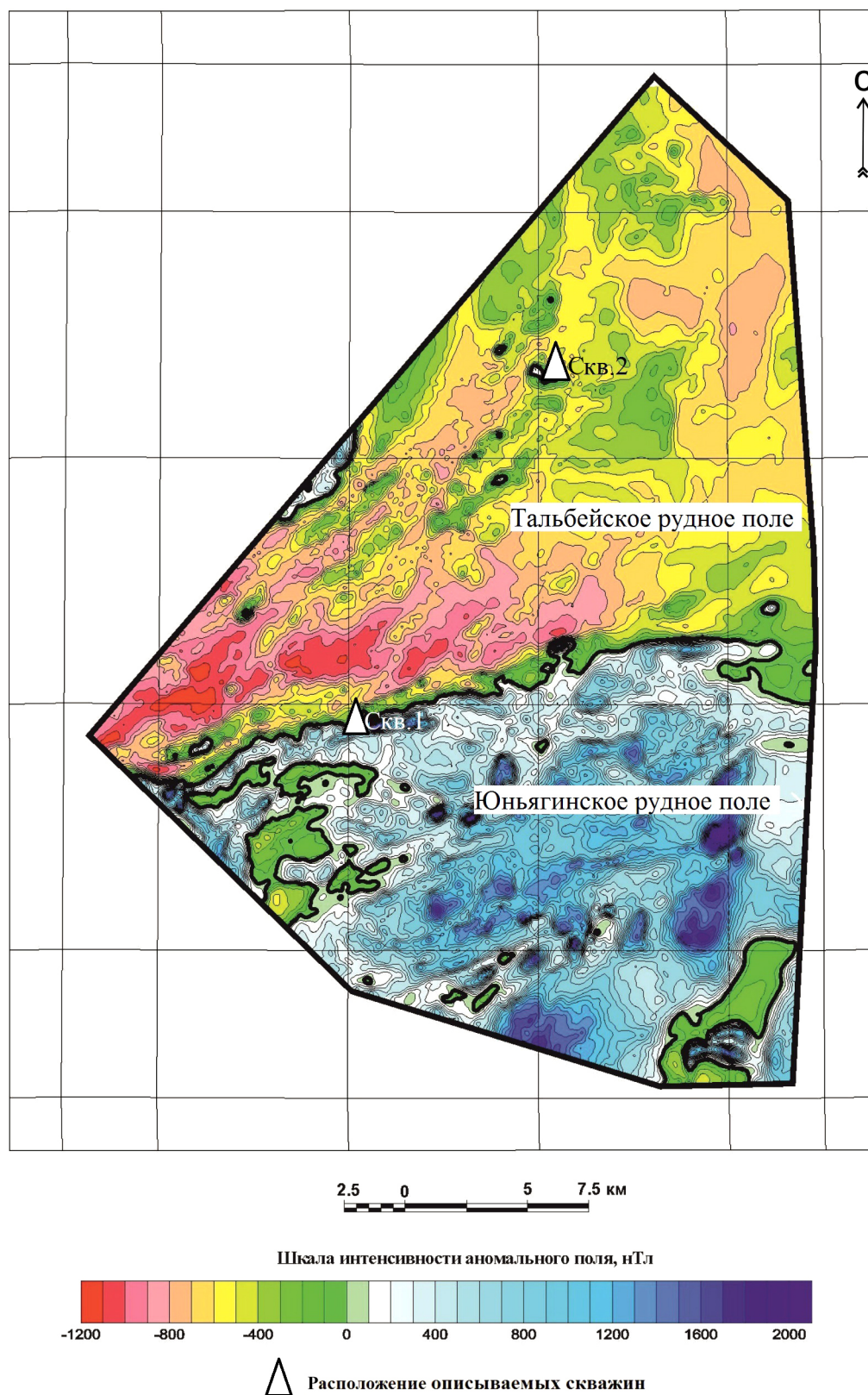


Рис. 1. Карта аномального магнитного поля изучаемого района (И.В. Молодцов, В.Г. Мавричев и др., 2006ф).

Fig. 1. Map of the anomalous magnetic field of the studied area (I.V. Molodtsov, V.G. Mavrichev et al., 2006f).

Юньягинское рудное поле представлено эффузивно-осадочной толщей, сложенной пироксеновыми порфиритами и пироксен-плаггиоклазовыми порфиритами и их туфами. Толща прорвана плаггиогранитами, аплитами и габбро Масловского блока и вместе с ними интенсивно изменена и превращена в метасоматические “роговики”, эпидотовые, эпидот-гранатовые, пироксен-амфибол-гранатовые и магнетитовые контакто-инфильтрационные скарны. Роговики обрамляют скарново-магнетитовую зону и тем самым ограничивают ее развитие. В этих отложениях локализованы скарново-магнетитовые месторождения юньягинской группы Юньягинского рудного поля. Одна из главных особенностей описываемых образований заключается в их несогласном, трансгрессивном залегании на различных горизонтах более древних пород и развитии в нижних частях базальных полимиктовых конгломератов, гравелитов и песчаников. Юньягинское рудопроявление, являясь месторождением пластового типа, располагается в останцах вулканогенно-карбонатного субстрата среди диоритов. Их становление протекало под интенсивным интрузивным и флюидным давлением, что обеспечило преимущественно блочные формы скарнирования и оруденения.

Геологическая позиция месторождений Юньягинского комплекса определяется приуроченностью к зоне крупного и весьма протяженного разлома, контролирующего с юга на север резкую смену высокоинтенсивного положительного магнитного поля на спокойное – отрицательное. Данная градиентная зона является границей между габброидами Масловского и Малыкского блоков (Воронов, Бабушкин, 2002).

Тальбейское рудное поле характеризуется спокойным характером магнитного поля и его пониженным уровнем, что обусловлено развитием здесь палеозойских вулканогенно-осадочных комплексов, присутствием наложенных мезозойских впадин, выполненных толщей терригенных осадков (Калмыков, Трусов, 2015) и наиболее высоким на севере Урала положением геофизического “базальтового” слоя. Рудное поле размещается в габброидах Малыкского блока на контакте с вулканогенными породами раннего силура и прослеживается субмеридионально вдоль Харутского глубинного разлома. Его центральная часть представлена скарново-рудной зоной, состоящей из обособленных тел пироксен-гранатовых скарнов, в различной степени обогащенных магнетитом и вмещенных в габброиды. Месторождения и проявления данной площади относятся к типу скарновых автореакционных. Рудные тела имеют общее юго-восточное крутое падение (Нечкин, Гараева, 2000).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

В ходе исследования данной площади нами изучены две скважины, расположенные в этих рудных полях. По результатам скважинной магнитометрии, проведенной в двух скважинах железорудного месторождения восточного склона Полярного Урала, рассчитаны:

углы и азимуты падения подсеченных скважинами магнитных тел;

вертикальные составляющие полной, индуцированной и остаточной намагниченностей по формулам:

$$J_z = \frac{\Delta Z}{4\pi} = \frac{(Z_0 - Z_1)}{4\pi},$$

$$J_{iz} = Z_0 \alpha,$$

$$J_{nz} = J_z - J_{iz}.$$

Фактор Q_z , определяемый по результатам измерений вертикальной составляющей магнитного поля представляет собой отношение вертикальных компонент остаточной J_{nz} и индуцированной J_{iz} намагниченностей:

$$Q_z = - \left(\frac{Z_{ai}/Z_0 + 2\pi\alpha Z_0}{2\pi\alpha Z_0} \right),$$

где α – магнитная восприимчивость; Z_{ai} – аномалия вертикальной составляющей магнитного поля пересеченных скважиной магнитных пород; Z_0 – вертикальная составляющая нормально-го магнитного поля, постоянная для района работ.

Этот параметр не зависит от концентрации ферромагнетика и позволяет оценить сохранность намагниченности и тип магнитной минерализации при условии, что породы были образованы в одинаковой обстановке.

Скважина № 1, расположенная в Юньягинском рудном поле, пробурена в зоне локальной положительной магнитной аномалии интенсивностью 1400 нТл (см. рис. 1). В разрезе скважины, по геологическим данным, присутствуют габбро, андезит-базальтовые порфириды, магнетитовая руда, на глубине 73.3–94.0 м отмечена зона скарнирования.

На диаграммах трехкомпонентной скважинной магнитометрии, проведенной в этой скважине, отмечается три аномалии пересечения (рис. 2).

Самая интенсивная аномалия, обусловленная подсечением богатых вкрапленных магнетитовых руд с содержанием магнетитового железа 50–60 мас. %, отмечается в интервале глубин 25.0–47.0 м на диаграмме магнитной восприимчивости интенсивностью до $216\,000 \times 10^{-5}$ ед. СИ. На диаграммах составляющих магнитного поля и магнитного азимута также отмечаются аномалии высокой интенсивности в интервале глубин 25.0–60.0 м. Интенсивность аномалии вертикальной составляющей магнитного поля (Z_a) изменяется от –50 000 нТл в верхней части аномалии до –15 000 нТл в ниж-

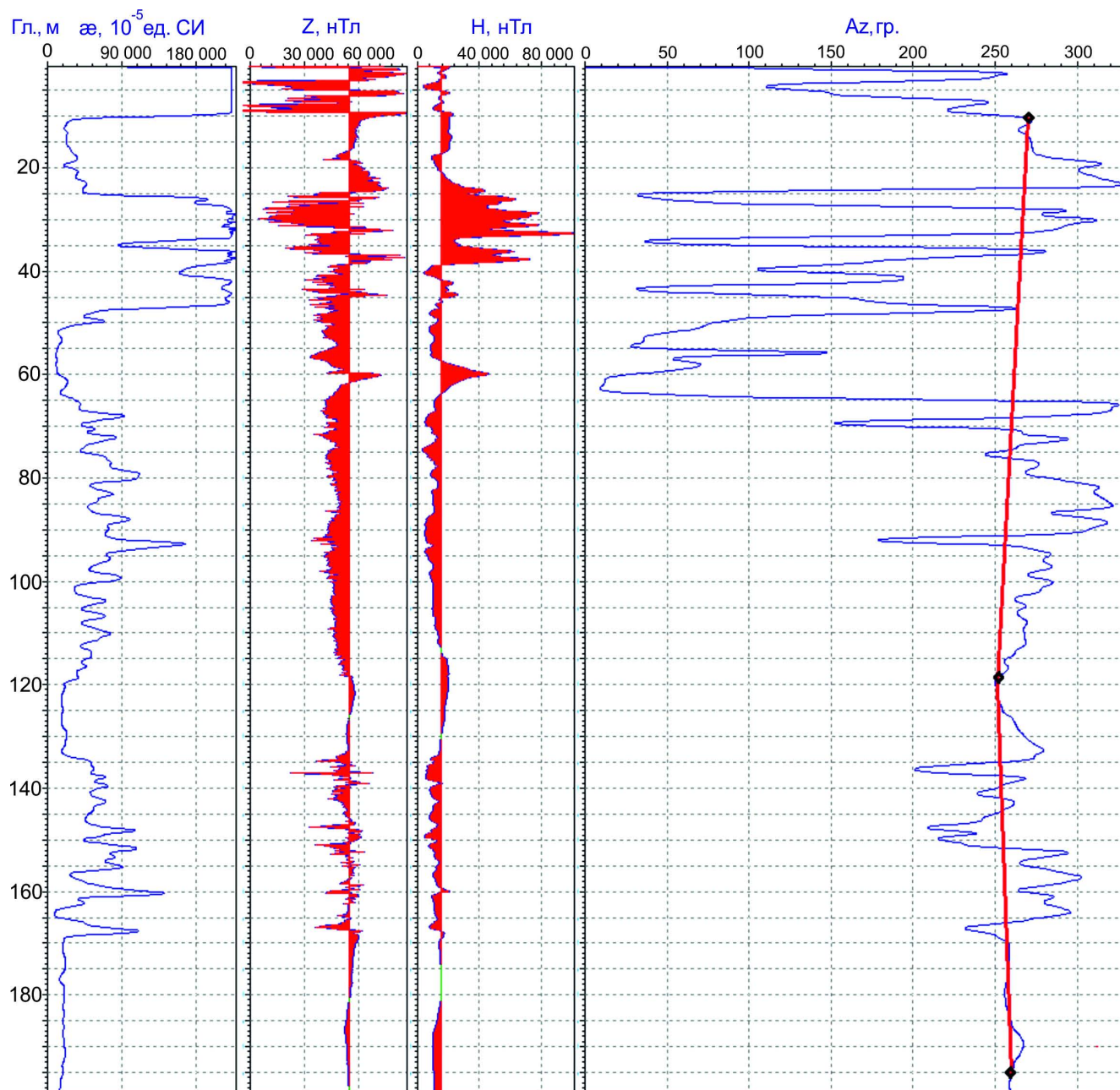


Рис. 2. Результаты скважинной магнитометрии в скважине № 1 на Юньягинском рудном поле.

α – магнитная восприимчивость; Z, H – вертикальная и горизонтальная составляющие магнитного поля; Az – магнитный азимут скважины.

Fig. 2. The results of borehole magnetometry in well No. 1 at the Yunyaginsky ore field.

α – is the magnetic susceptibility; Z, H – are the vertical and horizontal components of the magnetic field; Az – is the magnetic azimuth of the well.

ней части. Наиболее интенсивная аномалия по горизонтальной составляющей магнитного поля (H_h) наблюдается тоже в верхней части пласта и достигает 70 000 нТл. Величина аномалии магнитного склонения изменяется от 50° при подходе к пласту

до –260° внутри пласта. Несоответствие по глубинам аномальных зон магнитной восприимчивости и составляющих геомагнитного поля свидетельствует о том, что скважиной подсечено наклонное рудное тело в краевой части – частичное пересече-

ние, когда скважиной подсекается только небольшая часть рудного тела, а основное тело находится в стороне от скважины.

В интервалах глубин 67.0–119.0 и 134.0–168.0 м выделяются еще две аномалии пересечения меньшей интенсивности, обусловленные подсечением рудных тел с содержанием магнетитового железа не более 10 мас. %. Магнитная восприимчивость в этих интервалах меняется от $72\,000 \times 10^{-5}$ ед. СИ до $144\,000 \times 10^{-5}$ ед. СИ, Z_a – до $-15\,000$ нТл, H_a – до $15\,000$ нТл. Величина аномалии магнитного склонения варьируется от $+70^\circ$ до -120° . В этих интервалах аномалии магнитной восприимчивости и составляющих геомагнитного поля практически совпадают по глубине, что свидетельствует о субгоризонтальном расположении подсеченных тел.

В результате вычислений с помощью программы, написанной в лаборатории скважинной геофизики, рассчитаны углы и азимуты падения магнитных пород, подсеченных скв. № 1 (рис. 3). Угол падения пласта откладывается от горизонтали, а азимут падения – от магнитного севера. Для перехода к географической системе координат необходимо в значение магнитного азимута ввести поправку за магнитное склонение. В районе, где пробурена скважина, магнитное склонение равно -4° .

Проведенные расчеты подтверждают заключения, сделанные при анализе диаграмм скважинной магнитометрии: угол падения кровли верхнего тела около 40° , в то время как углы падения 2-го и 3-го пластов находятся в диапазоне 5 – 25° . Азимут падения верхнего пласта составляет 300° (СЗ), падение 2-го пласта можно определить как восточное, а третьего – как юго-западное.

Результаты расчетов составляющих вертикальной намагниченности представлены на рис. 4. При анализе полученных диаграмм можно сделать вывод, что все рудные подсечения в этой скважине имеют разный тип минерализации.

В интервале подсечения богатых вкрапленных руд (25.0–47.0 м) индуцированная намагниченность J_{iz} имеет положительную полярность и изменяется в диапазоне 80–100 А/м, естественная остаточная намагниченность J_{nz} отрицательная, ее величина достигает -100 А/м, а для полной вертикальной составляющей намагниченности J_z характерна знакопеременная полярность, значения которой изменяются от -2 до $+3.2$ А/м. Значения Q_z изменяются от -0.93 до -1.04 , а так как выше уже отмечалось, что фактор Q_z представляет собой отношение J_{nz}/J_{iz} , то, соответственно, значения, близкие или равные единице, свидетельствуют о высоком уровне сохранности остаточной намагниченности горных пород.

В интервалах глубин 67.0–119.0 и 134.0–168.0 м, где скважиной подсечены бедные магнетитовые руды, кривые J_{iz} и J_{nz} в большей степени дифференцированы, величина J_{iz} находится в пределах

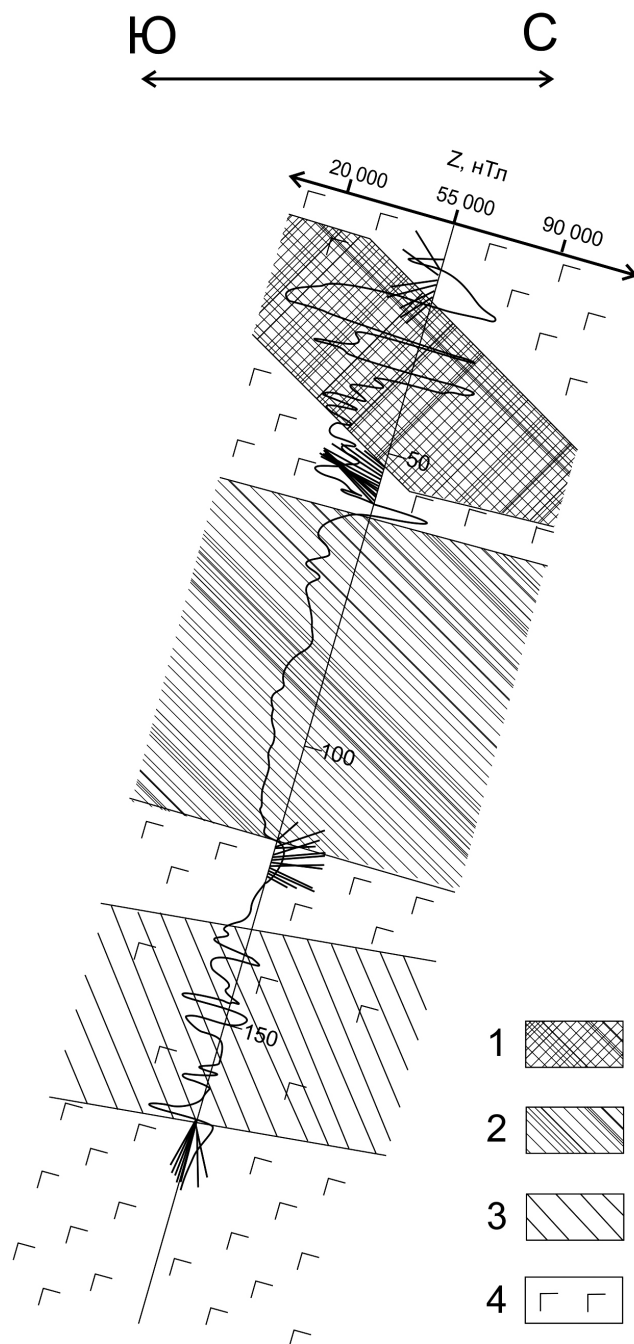


Рис. 3. Построение геологического разреза по результатам определения элементов залегания намагниченных тел, подсеченных скважиной № 1.

1 – габбро с вкрапленностью магнетита 50–60 мас. %,
2 – габбро с вкрапленностью магнетита до 10 мас. %,
3 – габбро с вкрапленностью магнетита 2–3 мас. %,
4 – габбро.

Fig. 3. Construction of a geological section based on the results of determining the elements of occurrence of magnetized bodies cut by a well No. 1.

1 – gabbro with magnetite inclusions of 50–60 wt %,
2 – gabbro with magnetite inclusions of up to 10 wt %,
3 – gabbro with magnetite inclusions of 2–3 wt %,
4 – gabbro.

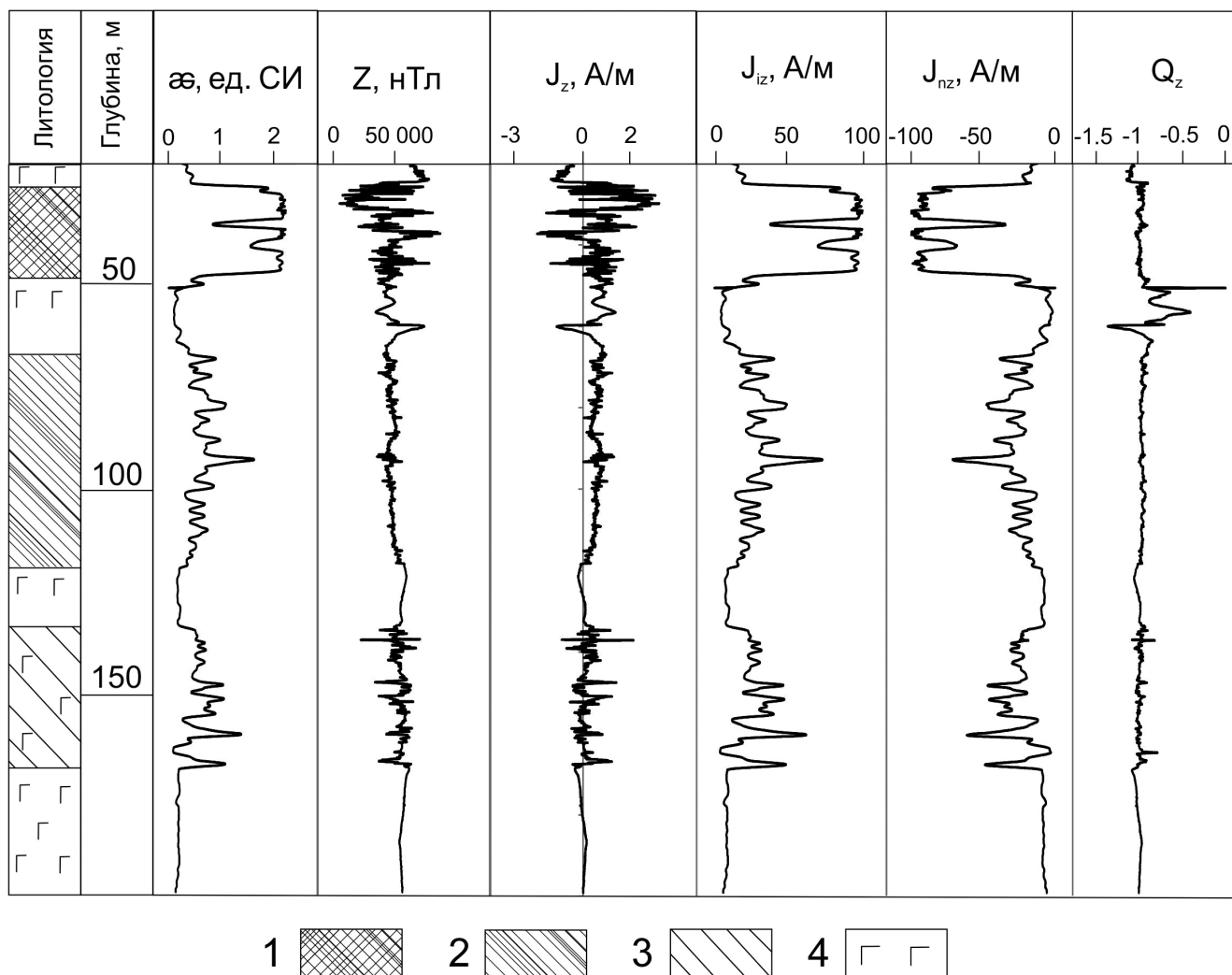


Рис. 4. Результаты определения вертикальных составляющих полной J_z , индуцированной J_{iz} , остаточной J_{nz} намагниченностей и фактора Q_z по скважине № 1.

1 – габбро с вкрапленностью магнетита 50–60 мас. %; 2 – габбро с вкрапленностью магнетита до 10 мас. %; 3 – габбро с вкрапленностью магнетита 2–3 мас. %; 4 – габбро.

Fig. 4. The results of determining the vertical components of the total J_z , induced J_{iz} , residual J_{nz} magnetization and the Q_z factor for well No. 1.

1 – gabbro with magnetite inclusions of 50–60 wt %; 2 – gabbro with magnetite inclusions of up to 10 wt %; 3 – gabbro with 2–3 wt % magnetite inclusions; 4 – gabbro.

25–60 А/м, J_{nz} отрицательная и изменяется от –19 до –66 А/м, полная вертикальная составляющая J_z в интервале глубин 67.0–119.0 м имеет прямую полярность и изменяется в пределах 0.1–1.3 А/м, а в интервале 134.0–168.0 м – знакопеременный характер и изменяется от –0.8 до +2.0 А/м.

Скважина № 2 (рис. 5) находится в пределах Тальбейского рудного поля в зоне отрицательных значений аномального магнитного поля Земли. Наземная магнитная аномалия на участке расположения скважины понижается до –400 нТл (см. рис. 1).

Скважиной вскрыты в основном базальтовые, андезитобазальтовые и андезитовые порфири-ты, с которыми связаны вкрапленные магнетитовые руды, с содержанием магнетитового железа от 3 до 20 мас. %. Величина магнитной восприимчивости изменяется от $15\,000 \times 10^{-5}$ ед. СИ (интервал 110.0–129.0 м), $30\,000 \times 10^{-5}$ ед. СИ (интервал 30.0–55.0 м) до $60\,000 \times 10^{-5}$ ед. СИ. Аномалии составляющих магнитного поля довольно слабой интенсивности по глубинам совпадают с аномалиями магнитной восприимчивости и имеют симме-

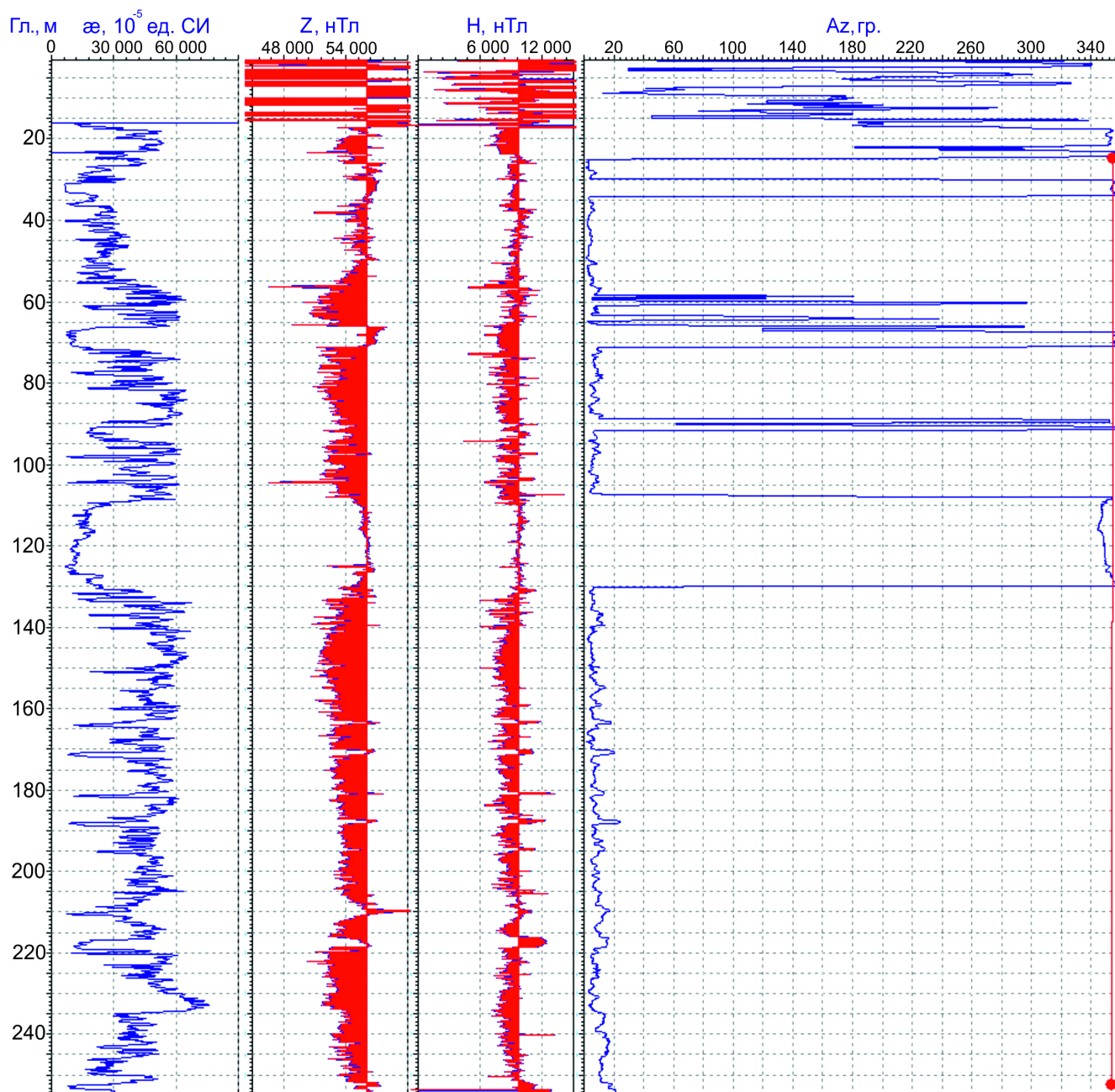


Рис. 5. Результаты скважинной магнитометрии в скважине № 2 на Тальбейском рудном поле, где α – магнитная восприимчивость, Z , H – вертикальная и горизонтальная составляющие магнитного поля, Az – магнитный азимут скважины.

Fig. 5. The results of downhole magnetometry in well No. 2 at the Talbay ore field, where α – is the magnetic susceptibility, Z , H – are the vertical and horizontal components of the magnetic field, Az – is the magnetic azimuth of the well.

тричный вид. Наибольшее отклонение вертикальной составляющей Z от нормального поля не превышает -4500 нТл, горизонтальной составляющей H -3300 нТл. Магнитный азимут в наиболее магнитных интервалах меняет направление с С-СЗ на С-СВ, интенсивность аномалии не превышает 20 град.

Такое соотношение кривых может свидетельствовать о том, что скважина подсекала рудные тела в центральной части.

В результате вычислений рассчитаны углы и азимуты падения магнитных пород, подсеченных скв. № 2 (рис. 6). По расчетам элементов залегания

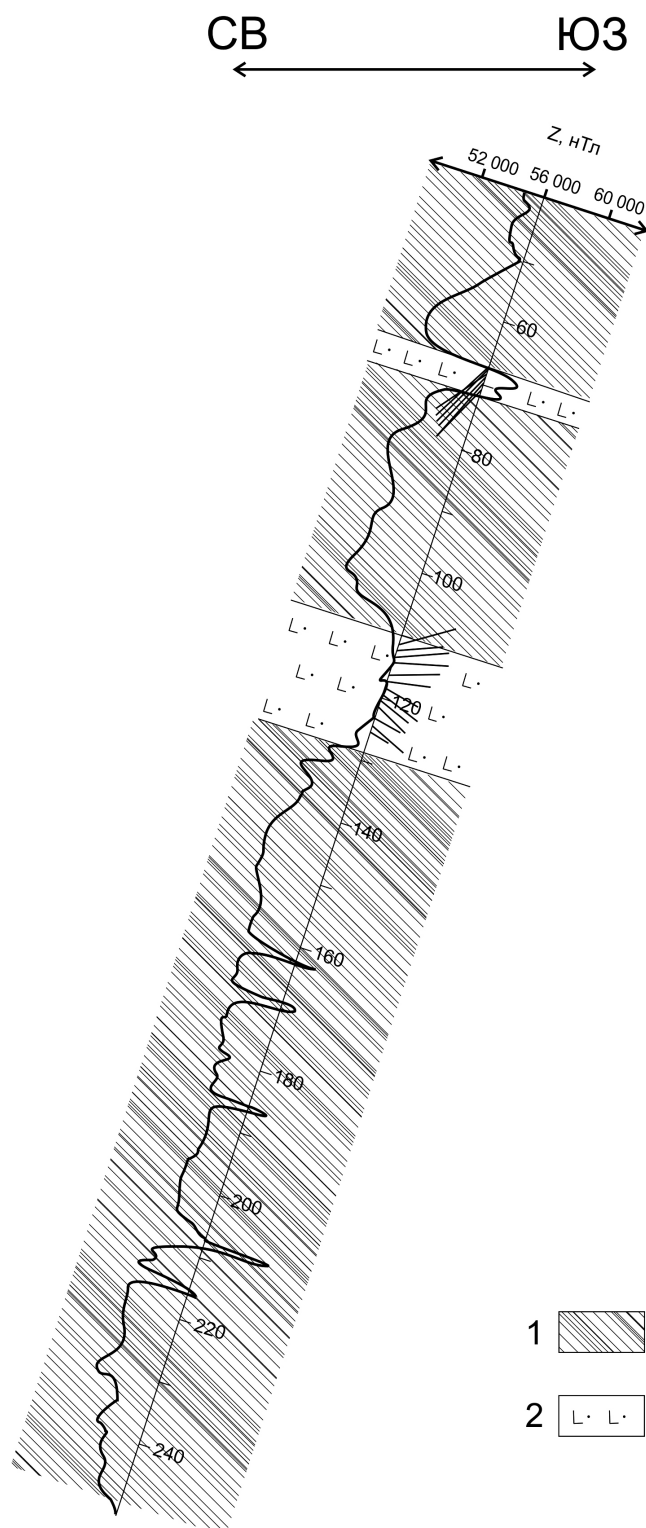


Рис. 6. Построение геологического разреза по результатам определения элементов залегания намагниченных тел, подсеченных скважиной № 2.

1 – магнетитовая руда, содержание магнетита до 15 мас. %; 2 – базальтовый порфирит.

Fig. 6. Construction of a geological section based on the results of determining the elements of occurrence of magnetized bodies cut by well No. 2.

1 – magnetite ore, magnetite content up to 15 wt %; 2 – basalt porphyrite.

дуцированной J_{iz} , остаточной J_{nz} намагниченностей и фактора Q_z по скв. № 2. Как и в скв. № 1, породы, вскрытые скв. № 2, характеризуются положительной индуцированной вертикальной намагниченностью J_{iz} , величина которой близка к 30 А/м, остаточная вертикальная намагниченность J_{nz} имеет обратную полярность и значение порядка минус 30 А/м, полная вертикальная намагниченность по всему разрезу скважины имеет положительную полярность, и ее значения примерно равны 0.1–0.3 А/м. Значение фактора $Q_z \approx -1$ свидетельствует о том, что разнонаправленные остаточная и индуцированная намагниченности практически компенсируют друг друга, в результате чего полная намагниченность J_z имеет очень низкие значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных скважинной магнитометрии, проведенной на Юньягинском рудном поле, подтверждает, что источниками магнитных аномалий на этой площади являются приповерхностные магнитные тела с высоким содержанием магнетитового железа, но небольшой мощности. Изучение магнитных характеристик подсечений магнетитовых руд позволило выделить различия в типах оруденения как в пределах одной скважины, так и в разных рудных полях. Так, по разрезу скв. № 1, расположенной в Юньягинском рудном поле, по результатам расчетов намагниченности горных пород в естественном залегании по измерениям в скважине внутреннего магнитного поля и магнитной восприимчивости горных выделяется три типа магнитной минерализации, различающиеся по величине и направлению полной, индуцированной и естественной остаточной вертикальной намагниченности. Определение по скачкам магнитного поля элементов залегания рудных тел, подсеченных скважиной, подтверждают их несогласное, трансгрессивное залегание на различных горизонтах, указанное в геологическом описании этого района.

В скв. № 2, расположенной в Тальбейском рудном поле, породы менее магнитны, но имеют

рудных тел угол падения верхнего пласта около 40° , а нижнего – $20\text{--}25^\circ$. Азимут падения верхнего пласта составляет около 180° (Ю), падение второго пласта можно определить как Ю-ЮВ.

На рис. 7 представлены результаты определения вертикальных составляющих полной J_z , ин-

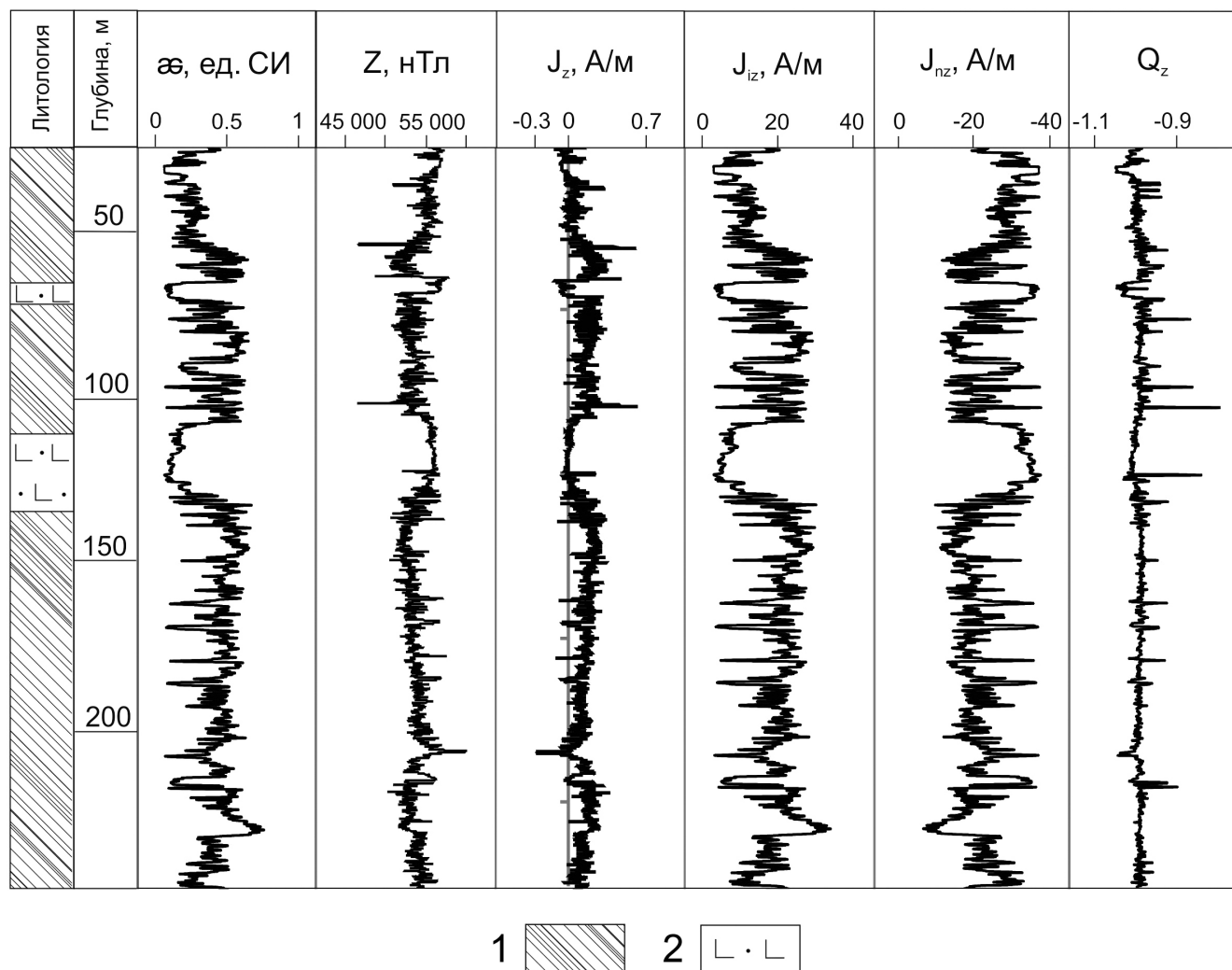


Рис. 7. Результаты определения вертикальных составляющих полной J_z , индуцированной J_{iz} , остаточной J_{nz} намагниченностей и фактора Q_z по скв. № 2.

1 – магнетитовая руда, содержание магнетита до 15 мас. %; 2 – базальтовый порфирит.

Fig. 7. The results of determining the vertical components of the total J_z , induced J_{iz} , residual J_{nz} magnetization and the Q_z factor for well No. 2.

1 – magnetite ore with a magnetite content of up to 15 wt %; 2 – basalt porphyrite.

большую мощность и характеризуются одним типом магнетитовой минерализации. На Тальбейском рудном поле основным источником аномалии, по-видимому, являются бедные магнетитовые руды (содержание железа 10–15 мас. %), связанные с базальтовыми порфиритами, заполняющими синклиналь, “образованную” скарнами. В целом поле размещается в менее магнитных породах фундамента, чем Юньягинское рудное поле. Рудообразование Тальбейского поля подверглось сильному гистерогенному разложению, что, вероятно, и повлияло на величину его магнетито-

вой минерализации и такое сильное отличие его магнитных характеристик от пород Юньягинского рудного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астраханцев Ю.Г., Белоглазова Н.А. (2012) Комплексная магнитометрическая аппаратура для исследования сверхглубоких и разведочных скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 120 с.
Бахвалов А.Н., Иголкина Г.В., Портнов В.С. (1992) Определение намагниченности пород в скважине по результатам измерения магнитного поля и восприим-

- чивости. *Геология и разведка. Изв. вузов.* (2), 116-121.
- Белоглазова Н.А., Глухих И.И., Корнилов В.С., Кощеева Е.А. (2014) К вопросу определения намагниченности горных пород по результатам трехкомпонентных скважинных измерений. *Уральск. геофиз. вестн.*, (2), 22-29.
- Воронов В.Н., Бабушкин Л.А. (2002) Щучинский синклиний и перспективы его рудоносности. *Уральск. геол. журн.*, (1), 115-125.
- Говорков В.А. (1960) Электрические и магнитные поля. Изд 2-е. М.; Л. Госэнергоиздат, 463 с.
- Иголкина Г.В. (2007) Изучение намагниченности горных пород в естественном залегании по данным измерений в сверхглубоких и глубоких скважинах. *Вестн. МГТУ*, 10(2), 244-250.
- Иголкина Г.В. (2002) Скважинная магнитометрия при исследовании сверхглубоких и глубоких скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 214 с.
- Иголкина Г.В., Белоглазова Н.А. (1996) Определение намагниченности пород по измерениям внутреннего магнитного поля и магнитной восприимчивости в сверхглубоких скважинах. *Теория и практика геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей*. Воронеж: Квадрат, 86-87.
- Калмыков Б.А., Трусов А.А. (2015) Особенности внутреннего строения палеозойских комплексов Щучинского синклинория Полярного Урала по аэрогеофизическим данным. *Разведка и охрана недр*, (12), 57-64.
- Магниторазведка: Справочник геофизика. (1990) (Под ред. В.Е. Никитского, Ю.С. Глебовского). Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 470 с.
- Месторождения полезных ископаемых Урала. (1999) (Отв. ред. В.А. Коротеев, В.А. Прокин). Екатеринбург: УрО РАН, 184 с. ISBN5-7691-0936-X.
- Нечкин Г.С., Гараева А.А. (2000) Тальбейская железорудная зона в Щучинской структуре (Полярный Урал). *Металлогения и геодинамика Урала*. Тез. докл. III Всеуральск. металлогенич. совещ. Екатеринбург, 128-132.
- Пономарев В.Н., Бахвалов А.Н. (1964) Интерпретация скачка магнитного поля, наблюдаемого в скважине при переходе через границу намагниченного тела. *Прикладн. геофизика*. М.: Недра, вып. 54, 111-119.
- Пономарев В.Н., Бахвалов А.Н. (1975) Методика магнитных измерений в скважинах и интерпретация результатов. *ЭИ. Сер. региональная, разведочная и промысловая геофизика*. М.: ВИЭМС, вып. 13, 25-56.
- Смайт В. (1954) Электростатика и электродинамика. М.: ИЛ, 604 с.
- (In Russ.)
- Bakhvalov A.N., Igolkina G.V., Portnov V.S. (1992) Determination of the magnetization of rocks in a well based on the results of measuring the magnetic field and susceptibility. *Geologiya i Razvedka. Izv. Vuzov*, (2), 116-121. (In Russ.)
- Beloglazova N.A., Glukhikh I.I., Kornilov V.S., Koshcheeva E.A. (2014) On the issue of determining the magnetization of rocks based on the results of three-component borehole measurements. *Ural'skii Geofiz. Vestnik*, (2), 22-29. (In Russ.)
- Govorkov V.A. (1960) Electric and magnetic fields. 2nd ed. Moscow; Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 463 p. (In Russ.)
- Igolkina G.V. (2002) Borehole magnetometry in the study of ultra-deep and deep wells. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 214 p. (In Russ.)
- Igolkina G.V. (2007) Studying the magnetization of rocks in natural occurrence according to measurements in ultra-deep and deep wells. *Vestnik MGTU*, 10(2), 244-250. (In Russ.)
- Igolkina G.V., Beloglazova N.A. (1996) Determination of rock magnetization by measurements of the internal magnetic field and magnetic susceptibility in ultra-deep wells. *Theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic and electric fields*. Voronezh, Kvadrat Publ., 86-87. (In Russ.)
- Kalmykov B.A., Trusov A.A. (2015) Features of the internal structure of Paleozoic complexes of the Shchuchinsky synclinorium of the Polar Urals according to aerogeophysical data. *Razvedka i Okhrana Nedr*, (12), 57-64. (In Russ.)
- Magnetic exploration: Handbook of Geophysics. (1990) (Ed. V.E. Nikitski, Y.S. Glebovski). 2nd ed., reprint. and additional Moscow, Nedra Publ., 470 p. (In Russ.)
- Mineral deposits of the Urals. (1999) (Ed. V.A. Koroteev, V.A. Prokin). Ekaterinburg, Uro RAN Publ., 184 p. ISBN 5-7691-0936-X. (In Russ.)
- Nechkin G.S., Garaeva A.A. (2000) Talbey iron ore zone in the Shchuchinsky structure (Polar Urals). *Metallogeny and geodynamics of the Urals*. Abstracts of the III All-Ural Metallogenic Meeting. Ekaterinburg, 128-132. (In Russ.)
- Ponomarev V.N., Bakhvalov A.N. (1964) Interpretation of the magnetic field jump observed in a well when crossing the boundary of a magnetized body. *Applied geophysics*. Moscow, Nedra Publ., iss. 54, 111-119. (In Russ.)
- Ponomarev V.N., Bakhvalov A.N. (1975) Methods of magnetic measurements in wells and interpretation of results. *EI. Ser. regional, exploration and field geophysics*. Moscow, VIEMS Publ., iss. 13, 25-56. (In Russ.)
- Smite V. (1954) Electrostatics and electrodynamics. Moscow, FL. 604 p. (In Russ.)
- Voronov V.N., Babushkin L.A. (2002) Shchuchinsky synclinorium and prospects of its ore content. *Ural'skii Geol. Zhurnal*, (1), 115-125. (In Russ.)
- Astrakhansev Yu.G., Beloglazova N.A. (2012) Complex magnetometric equipment for the study of ultra-deep and exploratory wells. Ekaterinburg: UrO RAN, 120 p.

REFERENCES