УДК 550.38:550.35

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА СЕВЕРО-ТАРАТАШСКОМ УЧАСТКЕ

Антипин А.Н., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Федосов М.А., Хацкевич Б.Д. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Выполнен комплекс наземных геофизических исследований на Северо-Тараташском участке, включающий площадную магнитометрическую съемку, пешеходную гамма-съемку и эманационную съемку. По результатам исследований были построены карты аномального магнитного поля (Δ*Ta*) и мощности экспозиционной дозы (МЭД), а также графики объемной активности радона. По результатам интерпретации данных комплекса геофизических исследований были уточнены местоположения тектонических нарушений (надвиговая структура и разлом), а также сделан вывод о продолжении разлома за линию надвига.

Северо-Тараташский участок, наземная магниторазведка, пешеходная гамма-съемка, эманационная съемка, тектонические нарушения.

THE RESULTS OF COMPLEXING OF GROUND GEOPHYSICAL METHODS AT THE NORTH-TARATASHSKIY AREA

Antipin A.N., Bazhenova E.A., Vdovin A.G., Fedosov M.A., Khadskevich B.D. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The complex of surface geophysical methods was carried out in the North Taratashsky area including area magnetometric survey, pedestrian gamma survey and emanation survey. Based on the results of the research, maps of anomalous magnetic field (Δ*Ta*) and exposure dose rate (EDR) were constructed, as well as graphs of volumetric activity of radon. According to the results of data interpretation of geophysical research locations of tectonic violations have been clarified (overthrusts and fault) and also concluded that the continuation of the fault beyond the overthrust line.

North-Taratashskiy area, ground magnetic survey, pedestrian gamma survey, emanation survey, tectonic disturbances.

Введение

Длительное напряженное состояние верхней части литосферы является главной причиной ее деформации, в большинстве случаев сопровождающейся разломообразованием, которое представляет собой формирование разноранговых разрывов, сочетания которых образуют разломно-блоковые структуры литосферы и ее деструктивные зоны. Геологическими объектами, отражающими процесс деструкции, являются трещины и разломы различных иерархических уровней и возраста заложения, которые в процессе тектоногенеза структурируются в системы и разноранговые блоковые структуры (Шерман, 2012).

Изучение разломных структур является актуальной и достаточно сложной задачей, для решения которой используют широкий комплекс как геолого-геофизических методов и физико-математических, так и геодезических наблюдений, а также геоинформационных технологий. К основным методам наземной геофизики при изучении различных тектонических нарушений относятся: гравиметрическая, магнитометрическая и радиометрическая, электрометрическая и сейсмическая съемки. Наибольший объем информации получают при комплексировании различных методов геофизических исследований.

Целью работ являлось уточнение местоположения разрывных тектонических нарушений на Северо-Тараташском участке (район деревни Куватал) в области ранее исследованных скважин (Баженова, 2017). На рис. 1 приведена схематическая карта участка работ.

Тараташский комплекс слагает центральную часть одноименной антиклинальной структуры, входящей в состав Башкирского антиклинория – крупнейшей

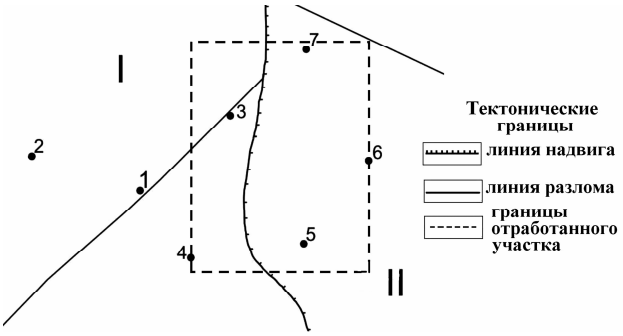

Рис. 1. Схематическая карта Северо-Тараташского участка (по материалам геофизического отдела Магнитогорского металлургического комбината):
I – Куватальская свита; II – зона зеленосланцевых диафторитов. Цифрами обозначены номера скважин

структуры западного склона Среднего и Южного Урала (Липчанская, 2010). Общая площадь Тараташского блока около 400 км^2. Комплекс обрамляется вулканогенно-осадочными отложениями айской и саткинской свит нижнего мезопротерозоя. Комплекс преимущественно сложен гиперстеновыми плагиогнейсами, мигматизированными двупироксеновыми кристаллическими сланцами и метакоматиитами. Подчиненное значение имеют биотитовые гнейсы с гранатом, кордиеритом, силлиманитом и графитом, а также железистые и графитовые кварциты. Породы Тараташского комплекса претерпели метаморфизм гранулитовой фации, более поздние процессы диафтореза гранулитов проявились в условиях амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций (Пыстин, Пыстина, 2015). В пределах Тараташского комплекса развиты многочисленные надвиги и взбросы, а также разломные структуры, обусловливающие его сложное геологическое строение (Андреев, 1995). Куватальское месторождение в Тараташском комплексе наиболее крупное, расположено в окрестностях деревни Куватал (Челябинская область), в 22 км на северо-восток от деревни Александровка (Формации … , 1984).

Исследуемый участок работ, представленный на рис. 1, состоит из двух геологических областей, разделенных разрывным тектоническим нарушением по типу надвиг, простирающимся с севера на юг. Западная часть участка представлена породами куватальской свиты. В основном это плагиомигматиты, в субстрате которых важную роль играют двупироксеновые кристаллические сланцы, пироксениты, а также габброиды. Преобладают послойные разности мигматитов (Формации … , 1984). Восточная область исследуемого района представлена зеленосланцевыми диафторитами, основными породами в этой части района работ являются биотитовые плагиомигматиты, габбро, амфибол-биотитовые мигматиты, дайки диабаза, кварцито-гнейсы, амфиболитовые гнейсы и магнетитовые кварциты (Белоглазова и др., 2017).

Аппаратура и методика измерений

Для исследования тектонических структур на данном участке были выбраны следующие методы наземной геофизики: магнитометрическая съемка, пешеходная гамма-съемка и шпуровая эманационная съемка.

Перед проведением наземных геофизических исследований были выполнены топогеодезические работы (обустройство профилей с помощью установки колышков с флажками) с целью планово-высотной привязки пунктов геофизических наблюдений путем. На участке работ размечено 22 профиля и 2 магистрали. Также во время проведения топогеодезических работ были скорректированы координаты ранее исследованных скважин на данном участке.

Направление профилей задавалось в крест простирания основных геологических границ (с юго-запада на северо-восток) с помощью GPS-навигаторов Garmin GPSmap 64st. Привязка пикетажа осуществлялась по средствам дынных GPS-приемника, нумерация пикетов велась с юго-запада на северо-восток и кратна: магнитная съемка – 5 м; радиометрическая съемка – 50 м. Начальной точкой отчета пикетажа (нулевые пикеты) служила западная граница исследуемой площади. Нумерация профилей начиналась с северо-западного, велась с севера на юг и была кратна 50 м. Координаты характерных то-

чек профилей (магистральных), таких как начало и конец, контролировались и запоминались в GPS-навигаторах.

Магнитометрическая съемка

Измерения полного вектора постоянного магнитного поля проводились переносным цезиевым магнитометром G-859SX производства компании Geometrics (США).

Так как магнитометр G-859Sx оснащен GPS-антенной Novatel Smart Antenna, измерения производились с шагом дискретизации 5 с и с сохранением координат каждой точки съемки. Оценка условий работы с последующей увязкой измеренных значений геомагнитного поля *T*, при высоте магниточувствительного датчика (МЧД) в 1,7 м, осуществлялась на контрольном пункте (КП), который был выбран на участке работ в малоградиентном месте – место установки магнитовариационной станции (МВС). В качестве приемника МВС использовался протонный «оверхаузеровский» магнитометр POS производства УГТУ-УПИ (Сапунов и др., 2000). Качество съемки оценивалось по измерениям на КП перед началом и в конце рабочего дня.

Полевая съемка значений магнитного поля была переведена в массив данных аномального поля путем вычитания уровня нормального магнитного поля с учетом данных магнитовариационной станции. Уровень нормального магнитного поля полного вектора для данной территории был выбран условно по средневзвешенным значениям и принят равным 57200 нТл. Картографический материал по магнитной съемке представлен картами полного вектора аномального магнитного поля (ΔTa).

Пешеходная гамма-съемка

Гамма-съемка проводилась по профилям с помощью радиометра СРП-68-01. Всего отработанно 11 профилей общей протяженностью 8,25 км. Расстояние между профилями составило 100 м, шаг съемки – 50 м. По результатам пешеходной гамма-съемки была построена карта мощности экспозиционной дозы.

Эманационная съемка

Эманационная съёмка проводилась радиометром альфа-активных газов РГА–01П, предназначенным для измерения объёмной активности альфа-излучающего изотопа радона ^{222}Rn. Вклад альфа-частиц изотопа радона (торона) учитывался за счёт временной селекции. Измерения проводились маршрутной съёмкой по трём профилям с шагом между пикетами 50 м. Первый профиль совпадает с 17 профилем, по которому проводилась магнитометрическая и радиометрическая съёмка. Два других профиля (ПР22, ПР23) выбраны в крест простирания предполагаемой области разлома параллельно друг другу на расстоянии 50 м, длина этих профилей составила 150 м. При проведении съемки отбирались пробы подпочвенного воздуха с глубины 0,5–1,0 м, и определялась объемная активность радона в этих пробах. Для этого пробоотборник погружали в предварительно проделанный ломом шурф на необходимую глубину, затем с помощью насоса в устройство детектирования УДГА-01П закачивали почвенный воздух и измеряли объёмную активность радона.

Результаты исследований и их обсуждение

Обработка материалов съемки выполнялась с помощью программы MS Excel. Для построения карт использовался пакет программ Golden Software Surfer. Карты выполнены в масштабе съемки 1:10000. Сечение изодинам аномального магнитного поля выбрано в 100 нТл, изогамм естественной радиоактивности пород – 1 мкР/ч. Результаты магнитометрических исследований и пешеходной гамма-съемки приведены на рис. 2 (цветная вкладка). По карте аномального магнитного поля (рис. 2а, цветная вкладка) исследуемый участок условно можно разделить на две области. Первая с положительными значениями магнитного поля – западная часть района работ, вторая отрицательная область – восточная часть района. В юго-восточной части исследуемого участка выделяется мощная положительная аномалия ΔT (до 1000 нТл), приуроченная к кварцит-магнетитовому оруденению в толще зеленосланцевых диафторитов. В зоне этой

аномалии пробурена скважина 5. По результатам скважинных исследований был установлен рудный интервал, представленный железистыми кварцитами, залегающий на глубине от 290 м и мощностью около 90 м (Баженова, Вдовин, 2015). В юго-западной части выделяются мелкие локальные аномалии магнитного поля, связанные с антропогенной деятельностью человека (заброшенные постройки и железный мусор). В северо-западной части исследуемого района, также выделяется участок с повышенными значениями магнитного поля, совпадающий с кварцит-магнетитовым оруденением в толще пород куватальской свиты. В зоне этой аномалии была пробурена скважина 3. По результатам геолого-геофизических изысканий в этой скважине были установлены несколько рудных интервалов, представленных железистыми кварцитами (Белоглазова и др., 2017). Также на плане изодинам аномального магнитного поля присутствуют значения, близкие к нулю. Эти нулевые области пространственно совпадают с границами тектонических нарушений (по материалам геофизического отдела Магнитогорского металлургического комбината), представленных на данном участке надвиговой структурой (предположительно простирается с севера на юг) и разломом (предположительно с запада на восток).

По результатам пешеходной гамма-съемки (см. рис. 2б, цветная вкладка) исследуемый участок работ также можно разделить на две области. Западная часть – значения мощности экспозиционной дозы (МЭД) составляют от 5 до 10 мкР/ч (породы куватальской свиты), восточная – от 14 до 21 мкР/ч (зеленосланцевые диафториты). По карте, представленной на рис. 2б (цветная вкладка), между этими областями проходят зоны со средними значениями (на карте обозначены белым цветом), которые также пространственно совпадают с тектонической границей зоны надвига. При этом с запада на восток прослеживается линейная структура с минимальными значениями МЭД, совпадающая с нулевыми значениями ΔTa (см. рис. 2а, цветная вкладка). По геоморфологическому строению в этой области исследуемого участка (с запада на восток) протекает ручей, окруженный обширными болотистыми низинами, которые и выделяются минимальными значениями МЭД.

На рис. 3 представлены результаты маршрутной съёмки объёмной активности радона (ОАР) и мощность экспозиционной дозы (МЭД) по профилю Пр17. Как видно из графиков, начиная с 300 м, прослеживается увеличение значений МЭД и ОАР, что свидетельствует о смене литологического состава горных пород, в данном случае прослеживается контакт пород куватальской свиты (пониженные значения ОАР и МЭД) и зеленосланцевых диафторитов (повышенные значения ОАР и МЭД).

На рис. 4 (цветная вкладка) показаны результаты съёмки ОАР и МЭД по профилям Пр22 и Пр23. Радиометрическая съёмка не имеет аномальных значений МЭД отличных от фоновых значений, наблюдаемых на этом участке. Эманационная съём-

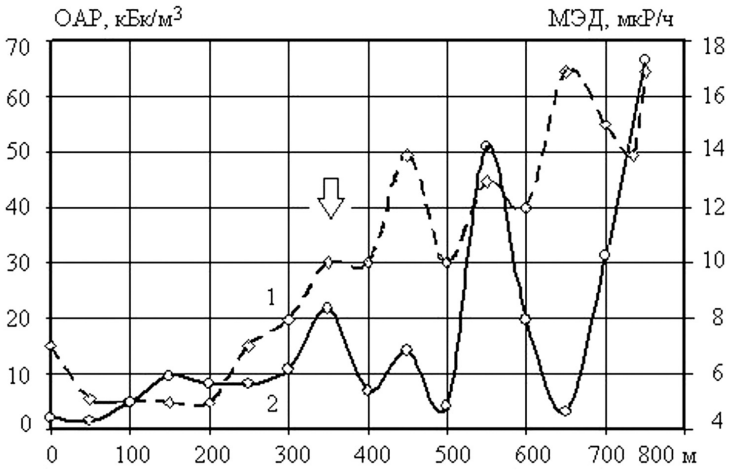

Рис. 3. Объемная активность радона (ОАР – кривая 2) и мощность экспозиционной дозы (МЭД – кривая 1) по профилю № 17.
Стрелка указывает место пересечения надвига

ка показала наличие пикета, в котором значение ОАР превышает значения в других точках, что не является ошибкой измерения, поскольку ОАР определяется по количеству зарегистрированных альфа-частиц, образующихся при распаде изотопов радона и его дочерних продуктов. Поэтому можно говорить о возможном наличии зоны проницаемости в этом месте, а поскольку длина профилей выбрана короткая, а расстояние между пикетами большое, есть вероятность, что другие пикеты не попали в зону проницаемости.

Заключение

По результатам исследований были построены карты аномального магнитного поля (Δ*Ta*) и мощности экспозиционной дозы (МЭД) масштабом 1:10000 (с учетом скорректированного местоположения скважин), а также графики объемной активности радона и мощности экспозиционной дозы по трем профилям. По результатам интерпретации данных комплекса геофизических исследований были уточнены местоположения тектонических нарушений (надвиговая структура и разлом). При сопоставлении первоначальной схемы Северо-Тараташского участка и полученных карт, было установлено, что линия разлома проходит в 150 м южнее скважины 3. Также, исходя из полученных карт, можно предположить, что разлом продолжается и за линией надвига (этот участок отсутствует на первоначальной схеме).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ – 16-35-00254.

Литература

Андреев Н.И. Тектоника Тараташского моноклинория структуры рудного поля и околорудные ореолы Саткинских месторождений кристаллического магнезита (Южный Урал): Автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. МГУ. М., 1995.

Баженова Е.А. Результаты комплексных исследований в скважинах Северо-Тараташского участка // Уральский геофизический вестник. 2017. № 1(29). С. 4–10.

Баженова Е.А., Вдовин А.Г. Новая технология исследования скважин в режиме челночного каротажа // XVI Уральская молод. науч. школа по геофизике: сб. науч. материалов. Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. С. 39–42.

Белоглазова Н.А., Баженова Е.А., Вдовин А.Г. Геодинамическая обстановка Северо-Тараташского участка по геофизическим исследованиям скважин // Уральский геофизический вестник. 2017. № 1(29). С. 60–65.

Липчанская Л.Н. Мигматиты Тараташского комплекса (Южный Урал) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. № 1. С. 19–27.

Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Архейско-палеопротерозойская история метаморфизма пород Уральского сегмента Земной коры // Труды КарНЦ РАН. Серия: геология докембрия. 2015. № 7. С. 3–18.

Сапунов В.А., Савельев Д.В., Денисова О.В., Киселев С.Е., Денисов А.Ю., Сабанин А.А. Современные протонные оверхаузеровские магнитометры: возможности и перспективы в области геологоразведки // Геологической службе России 300 лет. Международная геофизическая конференция: Тез. докл. СПб, 2000. С. 290–292.

Формации титаномагнетитовых руд и железистых кварцитов: Железорудные месторождения Урала / Отв. ред. А.М. Дымкин. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 264 с.

Шерман С.И. Деструкция литосферы: разломно-блоковая делимость и ее тектонофизические закономерности // Геодинамика и тектонофизика. 2012. Т. 3. № 4. С. 315–344.

К статье: Антипин А.Н., Баженова Е.А., Вдовин А.Г., Федосов М.А., Хацкевич Б.Д. – «Результаты комплексирования наземных геофизических методов на Северо-Тараташском участке»

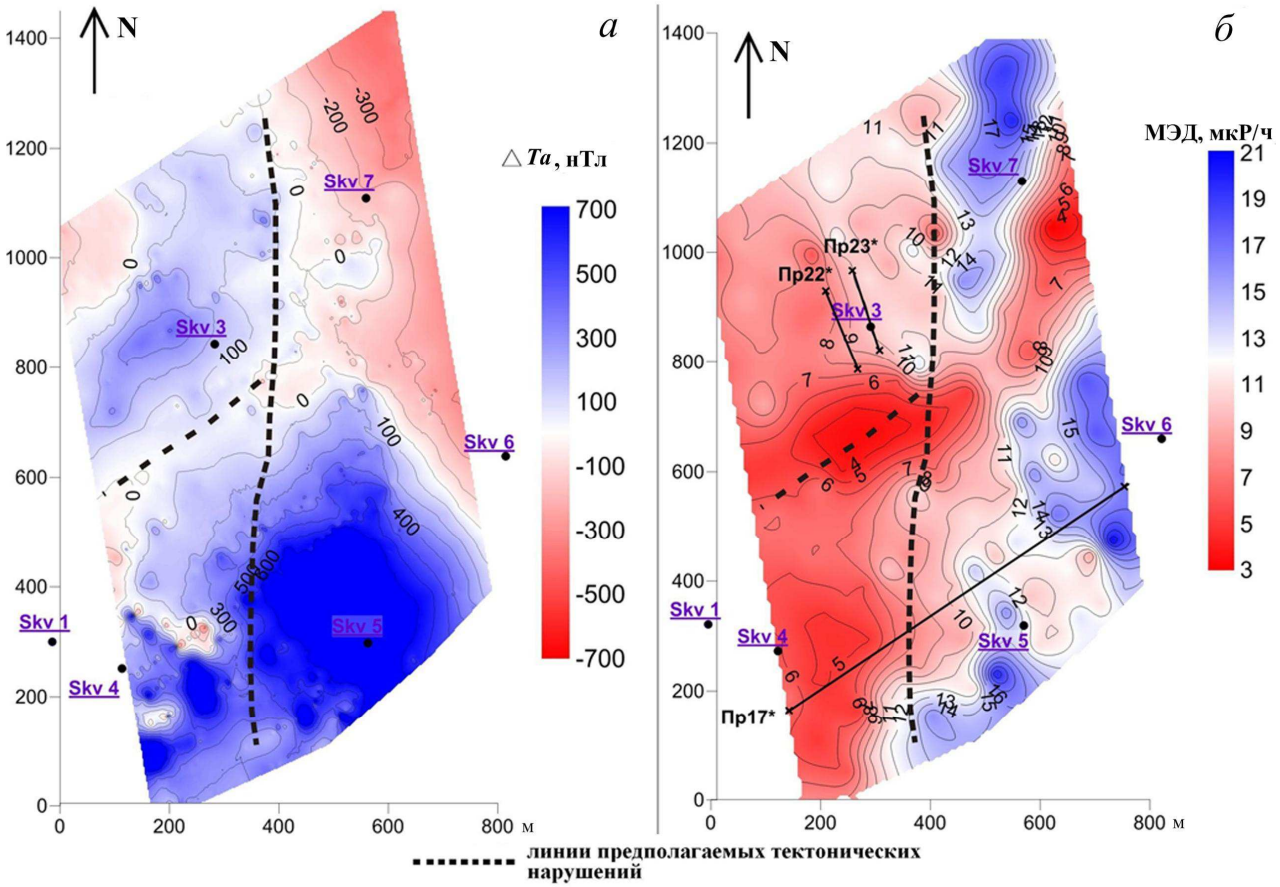

Рис. 2. Карты аномального магнитного поля (Δ*Ta*) и мощности экспозиционной дозы (МЭД). Масштаб 1:10000:
Skv – пробуренные скважины; ПР – профиль

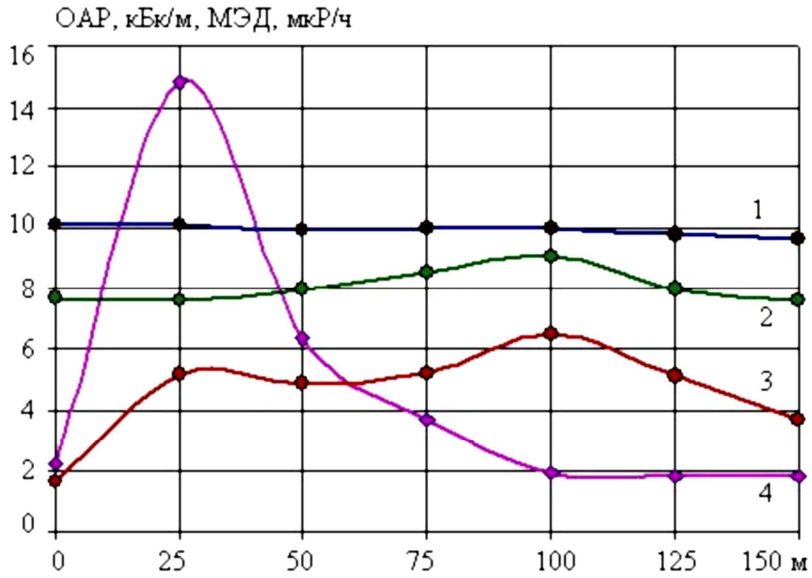

Рис. 4. Мощность экспозиционной дозы (кривые 1 и 2) и объемная активность радона (кривые 3 и 4) по профилям № 23 и № 22, соответственно