

УЧЕТ ТЕХНОГЕННЫХ ПОМЕХ ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАЛОГЛУБИННЫХ РАБОТАХ

А. В. Кузин¹, В. С. Торхов¹

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация: Металлические и железобетонные надземные и подземные сооружения на площадках строительства и гидрогеологических изысканий создают аномалии электрических и магнитных полей. Исключить или ослабить аномалии техногенной природы можно расчетом их интенсивности от тел с известными аномальными параметрами, посредством процедур сглаживания, разделения полей, выбором методик и установок, ослабляющих влияние техногенных помех. Исключение ложных техногенных аномалий позволяет получать более точные данные об элементах геологического строения недр, повышать их разрешающую способность. Приведен пример выделения геологических структур комплексом электроразведочных и магниторазведочных работ на участке, содержащем намагниченные техногенные объекты, а также пример учёта и исключения разности потенциалов в электроразведке методами сопротивления на участке с металлическими заземленными контурами. Показана невозможность полного исключения техногенных искажений из картины наблюдаемых физических полей. Приведенные примеры показывают их отрицательное влияние на эффективность геофизических исследований. Аналитические и методические приёмы ослабления и исключения техногенных помех позволяют получить определённую и существенную долю сведений о геологическом строении исследуемых недр. Даже в таких случаях геофизические данные несут определённую и значительную долю полезной информации об исследуемых недрах. Применение геофизических методов исследований площадок, включающих техногенные аномалиеобразующие объекты, целесообразно, но требует дополнительных методических приёмов для ослабления влияния помех, их исключения при обработке материалов.

Ключевые слова: магниторазведка, электроразведка, инженерная геофизика, гидрогеология, съёмка геофизического поля, кора выветривания, электрическое сопротивление грунтов, техногенное магнитное поле.

Для цитирования: Кузин А. В., Торхов В. С. Учет техногенных помех при геофизических малоглубинных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12-1. – С. 70–81. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_121_0_70.

Consideration of technogenic interference during geophysical shallow-depth work

A. V. Kuzin¹, V. S. Torhov¹

¹ Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia,

Abstract: Metal and reinforced concrete aboveground and underground structures at construction sites and hydrogeological surveys create anomalies of electric and magnetic fields. It is possible to exclude or weaken anomalies of technogenic nature by calculating their

intensity from bodies with known anomalous parameters, through smoothing procedures, field separation, selection of techniques and installations that weaken the influence of technogenic interference. The exclusion of false technogenic anomalies makes it possible to obtain more accurate data on the elements of the geological structure of the subsurface, to increase their resolution. An example of the allocation of geological structures by a complex of electrical and magnetic exploration works on a site containing magnetized technogenic objects is given. An example of taking into account and excluding potential differences in electrical exploration by resistance methods in a section with metal grounded circuits. It is shown that it is impossible to completely exclude technogenic distortions from the picture of the observed physical fields. Even in such cases, geophysical data carry a certain and significant share of useful information about the studied subsurface. These examples show their negative impact on the effectiveness of geophysical research. Analytical and methodological techniques for attenuation and exclusion of man-made interference allow us to obtain a certain and significant share of information about the geological structure of the studied subsurface. Even in such cases, geophysical data carry a certain and significant share of useful information about the studied subsurface. The use of geophysical methods for the study of sites, including man-made anomalous objects, is advisable, but requires additional methodological techniques to weaken the influence of interference, their exclusion in the processing of materials.

Key words: magnetic exploration, electrical exploration, engineering geophysics, hydrogeology, geophysical field survey, weathering crust, electrical resistance of soils, technogenic magnetic field.

For citation: Kuzin A. V., Torhov V. S. Consideration of technogenic interference during geophysical shallow-depth work. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12-1):70–81. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_121_0_70.

Введение

Малоглубинные геофизические работы в составе инженерно-геологических или гидрогеологических изысканий часто проводятся на площадках, где присутствуют техногенные сооружения: фундаменты, столбы, металлические ограды и т.п. Эти объекты создают локальные аномалии в магнитном поле, в поле значений кажущегося удельного электрического сопротивления природных грунтов [1–5]. Это существенно затрудняет извлечение геологической информации при истолковании измеренных геофизических параметров. Исключить или уменьшить влияние техногенных помех можно методическими приемами расположения источников и приёмников геофизических полей, исключением локальных аномалий техногенной природы при обработке информации [6–11]. На конкретных примерах продемонстрируем некото-

рые из этих приёмов. Цель — показать эффективность применения геофизических методов даже в условиях исследования площадок с наличием разнообразных техногенных помех.

Методы

Микромагнитная съёмка на локальных площадках исследований позволяет решать многие структурные задачи: выделение тектонического контакта между блоками магнитных и немагнитных пород, определение положения намагниченных субвертикальных даек и жил, определение направления простирания слоистых и сланцеватых пород под покровом рыхлых образований, выявление в массиве немагнитных известняков положения карстовой полости, заполненной слабонамагниченными рыхлыми осадками.

Имеющиеся на площадках исследований металлические и железобе-

тонные столбы, опоры в условиях субвертикального (для условий географических широт более 50–60 градусов) направления вектора индукции геомагнитного поля представляют из себя магнитный вертикальный диполь (рис. 1). Поле диполя можно рассчитать по аналитическим формулам, оценить его интенсивность, характер изменения при приближении датчика магнитометра к техногенной помехе [2]. Однако особенности наиболее часто применяемых для микромагнитных съёмки протонных магнитометров заключаются в том, что они: 1) измеряют не вектор суммарного (геомагнитного и поля помехи) магнитного поля, а его модуль; 2) не способны измерить индукцию вблизи полюса диполя из-за предельно высокого градиента магнитного поля. В реальных условиях магнитных съёмок при приближении к техногенному магнитному диполю удаётся фиксировать лишь понижение поля — так называемый «боковой минимум», характерный для поля магнитного объекта ограниченной по вертикали формы. Зная реальные размеры наземной и подземной частей диполя, теоретически можно по величине бокового минимума подобрать модельное поле от всего диполя, на любом расстоянии от него, на любой высоте над ним. Однако эта задача неактуальна: важно не знать полное поле, а исключить техногенную помеху «бокового минимума», искажающую интересующее исследователя геомагнитное поле. Это целесообразно сделать процедурами сглаживания поля, разделения на региональную и локальные составляющие, исключения из рассмотрения минимумов вблизи металлических сооружений.

Феррозондовые магнитометры дают возможность измерения компонент индукции аномального магнитного

поля техногенной помехи: вертикальной, горизонтальной, полной — при аппаратурной компенсации геомагнитного поля. Такие измерения позволяют измерить поле-помеху и исключить его из геомагнитного поля [7]. Однако последнее целесообразно при этом измерить на площади протонным или квантовым магнитометром.

Результаты. Обсудим некоторые аспекты измерения магнитного поля в присутствии помехи. На рис. 1. приведен график вертикальной составляющей аномального поля от магнитного вертикального диполя. Такой график может быть зарегистрирован только феррозондовым магнитометром. При этом геомагнитное поле около объекта съёмки в приборе компенсировано, приведено к нулю. Отметим одну важную особенность аномального поля: экстремум бокового минимума располагается от диполя на расстоянии, равном его длине. Соотнося при полевых работах эти размеры и расстояния, можно контролировать, верны ли ход работ и принятая рабочая гипотеза.

Феррозондовые магнитометры в практике изыскательских работ применяются не так часто, как протонные. Протонный магнитометр регистрирует от намагниченного объекта модуль аномального поля, который складывается из двух компонент: вертикальной и горизонтальной составляющих. Модуль аномального поля не имеет бокового минимума, он возрастает при приближении к объекту. И аномальное поле регистрируется протонным магнитометром вместе с модулем геомагнитного, интенсивность которого в средних и полярных широтах Земли обычно составляет 45–65 тыс. нТл. Соизмеримое с такой интенсивностью аномальное поле может быть создано только весьма масштабными по размерам ферромагнитными объектами: опо-



Рис. 1. График вертикальной составляющей аномального поля от вертикально намагниченного диполя (металлическая заземленная опора)

Fig. 1. Graph of the vertical component of the anomalous field from a vertically magnetized dipole (metal grounded support)

рой ЛЭП, буровой мачтой, большегрузным автомобилем и т.п. И тогда около намагниченного объекта измеряемое поле должно только возрастать за счет увеличения модуля аномальной составляющей.

В практике магниторазведочных работ с протонными магнитометрами вблизи сильнонамагниченных наземных объектов (автомобиль, железобетонный столб) обычно регистрируется уменьшение измеряемого поля: «боковой минимум» — до момента, когда протонный магнитометр по физическому принципу своего устройства не может произвести замер поля в условиях его сильного градиента вблизи объекта. (Этот досадный аспект практических работ отражен на рис. 1.) Анализ компонент аномального поля около сильнонамагниченного объекта даёт определённый ответ: если верхний полюс вертикального диполя будет выше, чем датчик протонного (и кван-

тового) магнитометра, то около диполя будет зафиксирован «боковой минимум». Если же полюс диполя располагается ниже профиля съёмки (например, обсадная колонна в скважине), то аномальное поле будет положительного знака.

На рис. 1 потенциальная интенсивность аномального поля диполя — его момент — обозначена в виде внесистемной единицы «Магнитный момент 20000 нТл». В академической науке момент задаётся в $A \cdot m^2$. Но это совершенно неудобно для практических магнитометрических работ. При аналитических расчетах компонент магнитного поля по формулам и при анализе материалов съёмок момент источника поля следует задавать в единицах индукции поля, которую этот источник и способен создать.

Учёт помех от горизонтальных намагниченных объектов (металлический забор, наземные и подземные

трубопроводы) можно осуществлять, анализируя их интенсивность по формулам для горизонтального кругового цилиндра. Однако анализ помех усложняется в случае компоновки этих протяженных объектов из отрезков металла, имеющих свою остаточную намагниченность дипольного характера, а также их индуцированную намагниченность при ориентировке вдоль силовых линий геомагнитного поля [1].

На рис. 2 показано магнитное поле на участке в южной части Свердловской области вблизи Фоминского месторождения мрамора. Размер

участка 260x100 м, сеть съёмки 20x10 и 10x10 м.

Приведены две карты изодинам: 1) наблюдаемого поля индукции, 2) карта, с которой удалены локальные отрицательные аномалии, зафиксированные вблизи железобетонных опор. После исключения аномалий-помех в магнитном поле более явно проявились элементы геологического строения участка. В частности, север-северо-западное простираение немагнитной толщи мраморов, залегающих субвертикально, примыкающих с запада к толще хлоритовых сланцев. Зонай

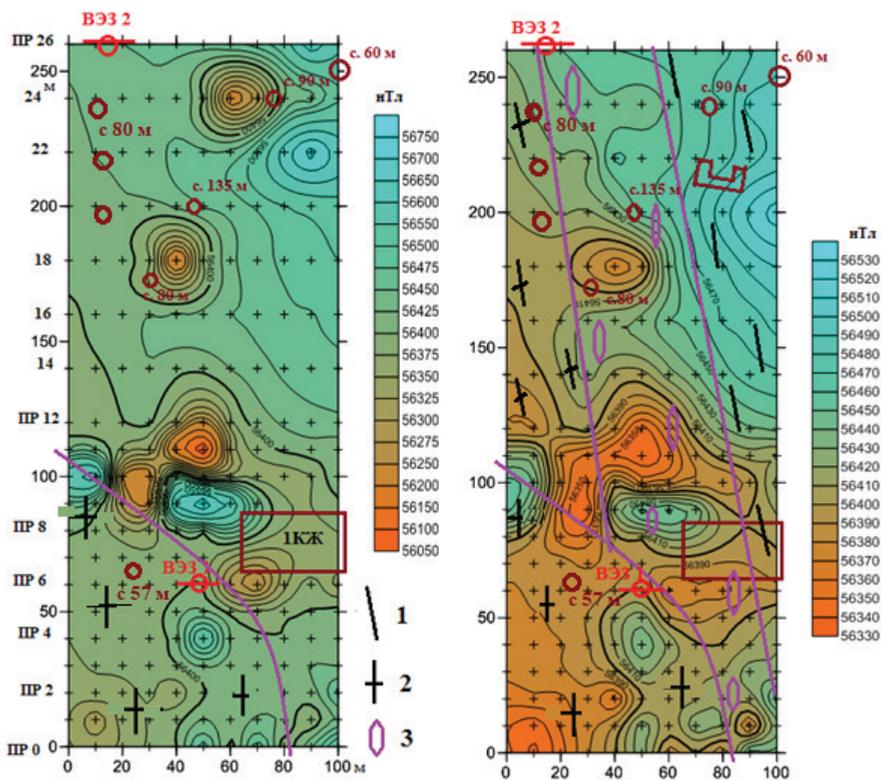


Рис. 2. Планы изодинам магнитного поля: наблюдаемого (диапазон изменений 700 нТл) и исправленного (диапазон 200 нТл) вычетом техногенных аномалий. Указаны некоторые сооружения и скважины, геологические комплексы: 1 – сланцы хлоритовые, 2 – слоистый мрамор, 3 – мрамор белый массивный

Fig. 2. Plans of the isodynamics of the magnetic field: observed (range of changes 700 Nt) and corrected (range 200 Nt) minus man-made anomalies. Some structures and wells, geological complexes are indicated: 1 – chlorite schists, 2 – layered marble, 3 – massive white marble

пониженного поля проявился фрагмент гранитного штока в юго-западном углу площади. Первоначально его положение было выделено по картине изоом на сводном планшете метода срединного градиента по изометричной зоне повышенных значений ρ_k (рис. 3).

Сланцы, мраморы вскрыты гидрогеологическими скважинами

и шурфами в северной половине участка. Мощность делювиальных суглинков на участке — 3–7 м, мощность элювиальных суглинков в толще мраморов и сланцев достигает 40–100 м.

Локальные положительные и отрицательные аномалии магнитного поля на контакте гранитов и мраморов могут

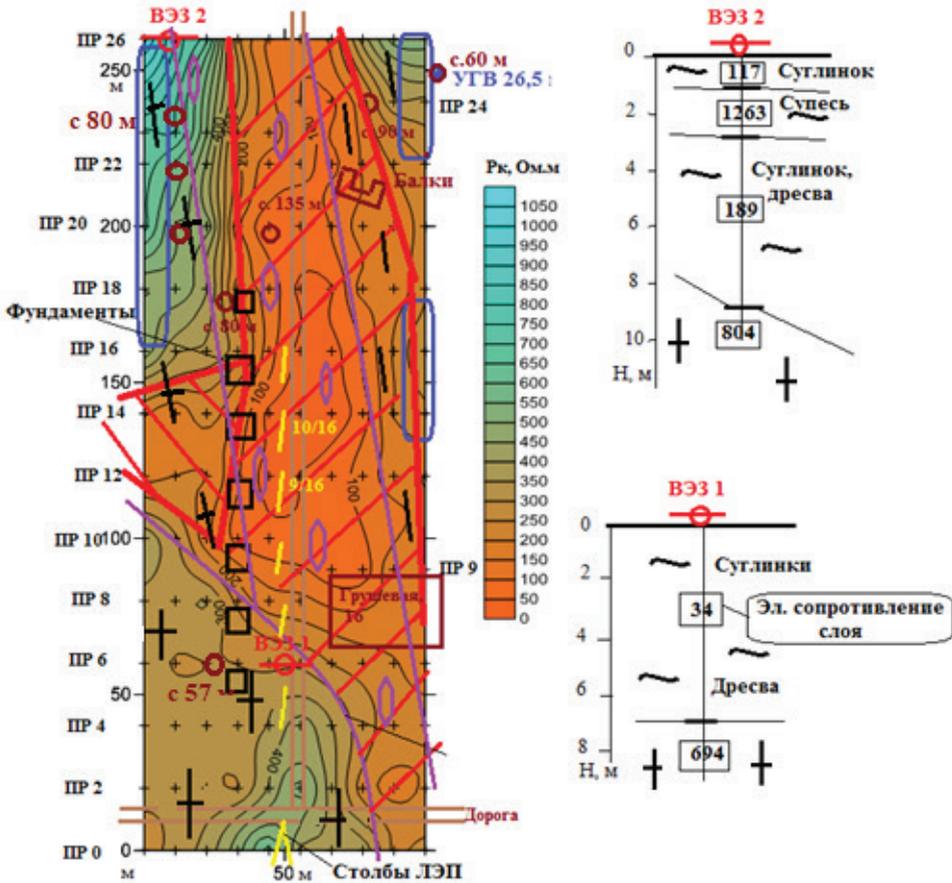


Рис. 3. План изоом горных пород на глубине порядка 40–50 м по данным сводного планшета метода срединного градиента и геоэлектрические разрезы по кривым ВЭЗ. Красной штриховкой на плане изоом показаны низкоомные заглинизированные зоны в мраморах и сланцах. Прямоугольниками голубого цвета указаны рекомендуемые зоны для заложения гидрогеологических скважин. Из существующих скважин водоносные — глубиной 60 и 57 м

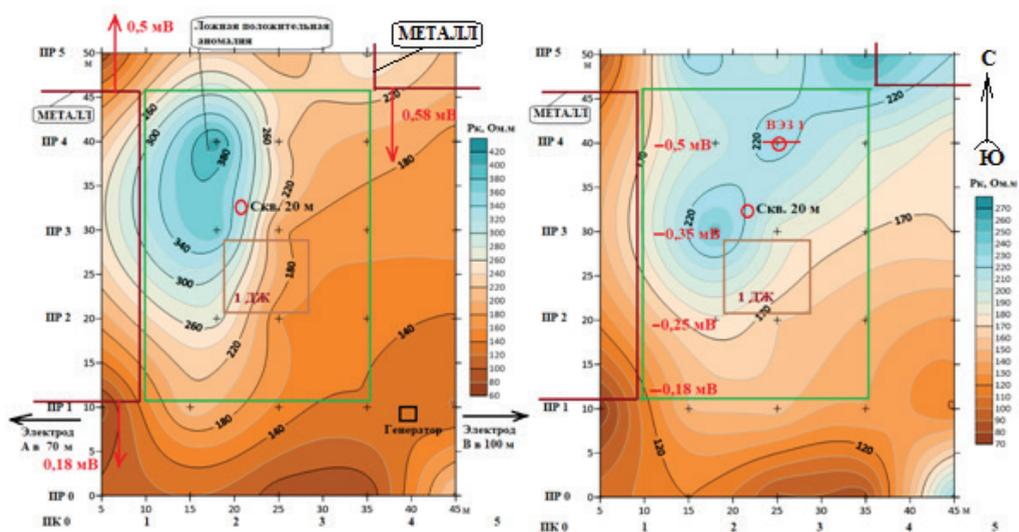


Рис. 4. Пример исправления плана изоом планшета метода срединного градиента (MSG) после внесения поправок в значения измеренной разности потенциалов вблизи металлического забора, западный контур которого располагается в 20 м от питающего электрода А. Измеренные значения разности потенциалов от тока, стекающего с металлического контура, и внесенные поправки указаны цифрами красного цвета

Fig. 4. An example of correcting the plan of the isoom tablet of the median gradient method (MSG) after making corrections to the values of the measured potential difference near a metal fence, the western contour of which is located 20 m from the supply electrode A. The measured values of the potential difference from the current flowing from the metal circuit and the corrections are indicated by red numbers

быть обусловлены наличием зон скарновых метасоматитов.

Металлические заборы, железобетонные блоки фундаментов, металлические трубы при проведении электроразведочных работ шунтируют объёмные проводники тока в геологической среде, создавая ложные локальные аномалии измеренных значений кажущегося удельного электрического сопротивления [12–15].

Существенно ослабить искажающее влияние линейной электропроводной помехи возможно использованием трёхэлектродной установки зондирования, когда приёмный диполь располагается перпендикулярно к помехе, непосредственно вблизи неё, а питающий электрод А относится по разностям от помехи [16].

При натекании тока от питающих электродов установок зондирования, срединного градиента на металлическое сооружение оно становится линейным источником тока, искажающим модельное поле токовых электродов. Натекание тока на сооружение-помеху можно установить при помощи приемного диполя, приближенного к сооружению, ориентированного вдоль изолинии потенциала от питающих электродов. На рис. 4 красными стрелками указано субмеридиональное положение приемного диполя длиной 10 м вблизи металлических заборов. Ориентировка питающей линии АВ субширотная, при этом разность потенциалов в приёмном диполе должна быть равной нулю, так как он располагается вдоль изолинии

потенциала. Если установлена разность потенциалов, то это свидетельствует о натекании тока на металлический контур.

Полагая металлический забор эквипотенциальным проводником, мы внесли поправки в измеренные значения разности потенциалов на пикетах планшета МСГ, примыкающих к забору. Картина изолиний значений ρ_k на планшете изменилась, диапазон значений снизился от 360 до 210 Ом·м, исчезла ложная положительная аномалия значений ρ_k вблизи забора. На планшете проявилась зона относительного повышения ρ_k северо-восточного простирания, в пределах которой оказалась точка вертикального трех-электродного электрического зондирования, выполненного еще до обработки планшета МСГ.

Под точкой ВЭЗ располагается пласт горных пород повышенного сопротивления, в нём же и скважина, остановленная на глубине 20 м из-за наличия грунта-пльвуна. По шлему около скважины видно, что верхняя часть разреза представлена делювиальными пластичными бурями суглинками, а нижняя — дресвой крупнозернистого биотитового гранита с глинистым заполнителем желто-коричневого цвета. Казалось бы, новую скважину можно рекомендовать в точке ВЭЗ. Кривая ВЭЗ — двухслойная: верхний нерасчлененный слой делювиальных и аллювиальных суглинков с дресвой гранитов мощностью 20 м и значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) 36 Ом·м, опорный высокоомный слой имеет значения УЭС порядка 260 Ом·м [17].

Перед заключением о месте заложения гидрогеологической скважины мы решили уточнить геоэлектрическое строение участка исследований прове-

дением новых площадных работ МСГ с ориентировкой питающей линии в северо-западном направлении, почти вкрест выделенной полосы повышенного сопротивления, что является наиболее благоприятным условием для проявления высокоомного пласта [18–20]. К тому же при такой ориентировке питающие электроды должны располагаться от металлических контуров забора на расстоянии в сотню метров.

Однако новый планшет выявил совсем иные геоэлектрические характеристики площадки (рис. 5).

Диапазон изменения значений ρ_k на планшете несколько снизился: 75–155 Ом·м. В южной половине участка располагаются относительно высокоомные породы. В северной половине проявилась субширотная зона снижения ρ_k до 75–110 Ом·м шириной 10–15 м. Это может быть проявление тектонического нарушения в геоэлектрическом строении скальных пород. В условиях сильнотрещиноватых пород зона неблагоприятна для заложения в неё скважины, так как это требует увеличения интервала обсадки непрочных пород до глубины не менее 35–40 м [21].

Избежать натекания тока на металлические помехи не удалось. В приёмных линиях длиной 5 м, расположенных вкрест ориентировки питающего диполя АВ у заборов установлено наличие разности потенциалов 0,17 и 0,22 мВ. При замерах проводилось изменение азимута приёмного диполя на 5–10 градусов в обе стороны от нормали к АВ, паразитная разность потенциалов от электропроводной помехи не исчезала. В итоге исследований дана рекомендация добурить оставленную скважину. Общая глубина её 47 м, до глубины 36 м разрез представлен заглинизированными кремнистыми

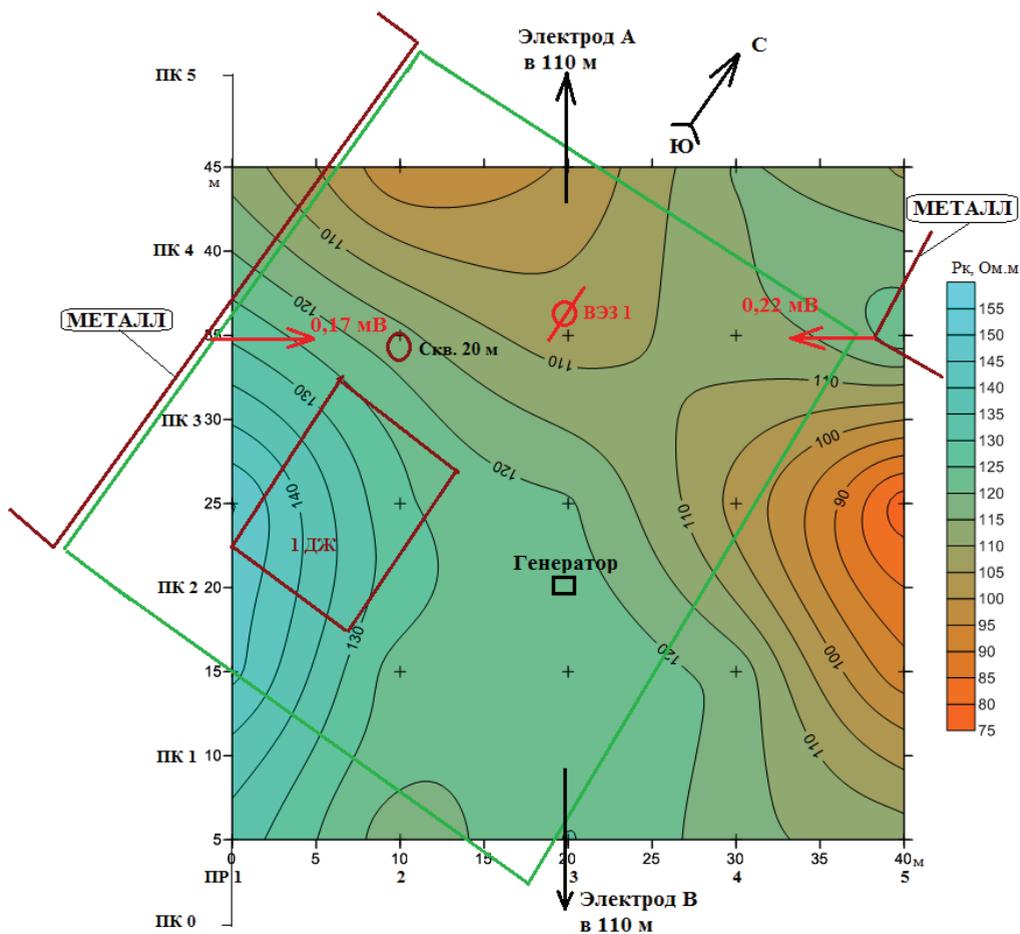


Рис. 5. План изом при съёмке планшета МСГ с северо-западной ориентировкой питающей линии
 Fig. 5. The plan of the fracture when shooting the MSG tablet with the north-western orientation of the supply line

сланцами. Обсадка скважины пластиковой трубой до глубины 37 м. Водоприток — из сланцев в диапазоне глубин 36–47 м.

Заключение

Приведенные примеры наличия техногенных искажений физических полей показывают их отрицательное влияние на эффективность геофизических исследований. Аналитические и методические приёмы ослабления и исклю-

чения техногенных помех позволяют получить определённую и существенную долю сведений о геологическом строении исследуемых недр. Таким образом, применение геофизических методов исследований площадок, включающих техногенные аномалиеобразующие объекты, целесообразно, но требует дополнительных методических приёмов для ослабления влияния помех, их исключения при обработке материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов В. Б., Болотнова Л. А.* Магнитное поле трубопровода // Известия Уральской государственной горно-геологической академии. Серия: Геология и геофизика. — 2003. — Вып. 18. — С. 198–202.
2. *Гершанок Л. А.* Малоглубинная магниторазведка в условиях промышленных помех // Вестник Пермского университета. — 2013. — Вып. 1(18). — С. 34–51.
3. *Старииков В. С.* Инженерная магнитометрия при исследовании технического состояния стальных трубопроводов большого диаметра // Вестник ВГУ. Серия: Геология. — 2016. — № 3. — С. 114–118.
4. *Новикова П. Н.* Техногенные помехи при выполнении магниторазведочных работ // Горное эхо. — 2020. — № 4. — С. 70–75. DOI: 10.7242/echo.2020.4.14.
5. *Новикова П. Н., Воротилов В. А., Копытин В. В., Субботин П. А., Калашникова М. М., Темиров П. А.* Инженерная магниторазведка при обнаружении подземных коммуникаций в условиях помех техногенного происхождения // Восемнадцатая Уральская молодёжная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2017. — С. 147–151.
6. *Алеев Р. М., Балашова С. П., Бобачев А. А.* Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / Под ред. В. А. Шевнина и И. Н. Модина. — М.: РУССО, 1999. — 511 с.
7. *Keller P.* Magnetic Field Sensing Techniques // Magnetic Measurement Techniques for Materials Characterization. — Cham : Springer International Publishing, 2021, pp. 275–299.
8. *Jiang L., Tian G., Wang B., Guo X., He X., Zou A.* Application of three-dimensional electrical resistivity tomography in urban zones by arbitrary electrode distribution survey design // Journal of Applied Geophysics. 2021, vol. 199, 104460. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2021.104460.
9. *Лаломов Д. А., Артюгин А. И.* Особенности совместной обработки и интерпретации данных электротомографии и георадиолокации в условиях влияния техногенных помех на объектах транспортного строительства // Георесурсы. — 2014. — № 3 (58). — С. 37–40. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.58.3.7>.
10. *Дядьков П. Г., Цибизов Л. В., Борисенко Д. А.* Методика учета интенсивных промышленных помех при проведении магнитной съёмки // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2015. — Т. 2. — № 2. — С. 57–62.
11. *Жижикина Е. А., Мандрикова О. В., Хомутов С. Ю.* Алгоритм выделения техногенных помех в геомагнитных данных // Вестник КамчатГТУ. — 2016. — № 35. — С. 21–26. DOI: 10.17217/2079-0333-216-35–21–26.
12. *Мухаметшин А. М., Санфиоров И. А., Вознесенский А. С., Поршнев С. В., Анисимов В. М.* Комплексные инженерно-геофизические и инженерно-геологические исследования на площадке строительства особо ответственных объектов (на примере многоэтажных зданий) делового центра Екатеринбург-Сити / Под ред. А. М. Мухаметшина и И. А. Санфиорова. — Екатеринбург: Полиграфист, 2008. — 162 с.
13. *Chen W. Y., Xue G. Q., Song W. T., Heu D. Y.* Accurate calculation and characteristic analysis of power frequency electromagnetic field generated by AC high voltage transmission line // Chinese Journal of Geophysics. 2022, vol. 65, no. 5, pp. 1813–1821.
14. *Мухаметшин А. М.* Проблемы горной геофизики (на примере подземной векторной магнитометрии) // ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 2001. — 210 с.
15. *P`adua M. B., Padilha A. L. and Vitorello I.* Disturbances on magnetotelluric data due to DC electrified railway: A case study from southlasterh Brazil // Earth Planets Space. 2002, vol. 54, pp. 591–596.
16. *Кузин А. В.* Трехэлектродные ВЭЗ вблизи электропроводной линейной помехи // Известия УГГА. Серия Геология и геофизика. — 2003. — Вып. 18. — С. 202–206.

17. Кузин А. В., Киселёв Д. А., Поезжаев О. С. Влияние промерзания и изменения влажности грунтов на их удельное электрическое сопротивление // Уральский геологический журнал. — 2017. — № 1 (115). — С. 49–54.

18. Давыдов В. А. Геофизические исследования в районе Крылатовской водозаборной скважины // Известия Уральского государственного горного университета. — 2021. — Вып. 1 (61). — С. 65–73. DOI: 10.21440/2307-2091-2021-1-65-73.

19. Козак С. З. Состояние и перспективы развития геофизических методов при поисково-разведочных работах на воду // Разведка и охрана недр. — 2003. — № 10. — С. 87–93.

20. Павлова А. М., Шевнин В. А. 3D-электротомография при исследовании ледниковых отложений // Геофизика, ЕАГО. — 2013. — № 6. — С. 32–37.

21. Мелькановицкий И. М., Ряполова В. А., Хордилайнен М. А. Методика геофизических исследований при поисках и разведке пресных вод / Под ред. А. А. Огильви. — М.: Недра, 1982. — 239 с. 

REFERENCES

1. Vinogradov V. B., Bolotnova L. A. Magnetic field of a pipeline. *Izvestiya Ural'skoj gosudarstvennoj gorno-geologicheskoy akademii. Seriya: Geologiya i geofizika*. 2003, vol. 18, pp. 198–202. [In Russ].

2. Gershanok L. A. Shallow magnetic prospecting under conditions of industrial interference. *Bulletin of Perm University*. 2013, issue 1(18), pp. 34–51. [In Russ].

3. Starikov V. S. Engineering magnetometry in the study of the technical condition of large-diameter steel pipelines. *Bulletin of VSU. Series: Geology*. 2016, no. 3, pp. 114–118. [In Russ].

4. Novikova P. N. Technogenic interference during magnetic exploration work. *Mining echo*. 2020, no. 4, pp. 70–75. [In Russ]. DOI: 10.7242/echo.2020.4.14.

5. Novikova P. N., Vorotilov V. A., Kopytin V. V., Subbotin P. A., Kalashnikova M. M., Temirov P. A. Engineering magnetic prospecting in the detection of underground communications in conditions of man-made interference. *Eighteenth Ural youth scientific school in geophysics: Collection of scientific works. Materials*. Perm: GI Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 147–151. [In Russ].

6. Aleev R. M., Balashova S. P., Bobachev A. A. Geoecological surveys of oil industry enterprises. Ed. V. A. Shevnin and I. N. Modina, Moscow, RUSSO, 1999, 511 p. [In Russ].

7. Keller P. Magnetic Field Sensing Techniques. *Magnetic Measurement Techniques for Materials Characterization*. — Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 275–299.

8. Jiang L., Tian G., Wang B., Guo X., He X., Zou A. Application of three-dimensional electrical resistivity tomography in urban zones by arbitrary electrode distribution survey design. *Journal of Applied Geophysics*. 2021, vol. 199, p. 104460. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2021.104460.

9. Lalomov D. A., Artyugin A. I. Peculiarities of joint processing and interpretation of electrical tomography and georadiation data under the influence of man-made interference at transport construction sites. *Georesursy*. 2014, no. 3 (58), pp. 37–40. [In Russ]. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.58.3>.

10. Dyadkov P. G., Tsbizov L. V., Borisenko D. A. Methodology for taking into account intense industrial interference when conducting magnetic surveys. *Interexpo Geo-Siberia*. 2015, vol. 2, no. 2, pp. 57–62. [In Russ].

11. Zhizhikina E. A., Mandrikova O. V., Khomutov S. Yu. Algorithm for identifying man-made interference in geomagnetic data. *Bulletin of KamchatGTU*. 2016, no. 35, pp. 21–26. [In Russ]. DOI: 10.17217/2079-0333-216-35-21-26.

12. Mukhametshin A. M., Sanfirov I. A., Voznesensky A. S., Porshnev S. V., Anisimov V. M. Complex engineering-geophysical and engineering-geological studies at the construction site of especially critical objects (using the example of multi-story buildings) of the business center of Yekaterinburg City. Ed. A. M. Mukhametshina and I. A. Sanfirova. Ekaterinburg, Polygraphist, 2008, 162 p. [In Russ].

13. Chen W. Y., Xue G. Q., Song W. T., Heu D. Y. Accurate calculation and characteristic analysis of power frequency electromagnetic field generated by AC high voltage transmission line. *Chinese Journal of Geophysics*. 2022, vol. 65, no. 5, pp. 1813–1821.

14. Mukhametshin A. M. Problems of mining geophysics (using the example of underground vector magnetometry). IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Ekaterinburg, 2001, 210 p. [In Russ].

15. P'adua M. B., Padilha A. L. and Vitorello I. Disturbances on magnetotelluric data due to DC electrified railway: A case study from southlasterh Brazil. *Earth Planets Space*. 2002, vol. 54, pp. 591–596.

16. Kuzin A. V. Three-electrode VES near electrically conductive linear interference. *Izvestiya UGGGA. Seriya Geologiya i geofizika*. 2003, vol. 18, pp. 202–206. [In Russ].

17. Kuzin A. V., Kiselev D. A., Poezhaev O. S. The influence of freezing and changes in soil moisture on their electrical resistivity. *Ural Geological Journal*. 2017, no. 1 (115), pp. 49–54. [In Russ].

18. Davydov V. A. Geophysical research in the area of the Krylatov water well. *News of the Ural State Mining University*. 2021, issue 1 (61), pp. 65–73. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2021-1-65-73.

19. Kozak S. Z. State and prospects for the development of geophysical methods in prospecting and exploration for water. *Razvedka i ohrana nedr*. 2003, no. 10, pp. 87–93. [In Russ].

20. Pavlova A. M., Shevnin V. A. 3D electrical tomography in the study of glacial deposits. *Geophysics, EAGO*. 2013, no. 6, pp. 32–37. [In Russ].

21. Melkanovitsky I. M., Ryapolova V. A., Khordikainen M. A. Methods of geophysical research in the search and exploration of fresh waters. Ed. A. A. Ogilvi. Moscow, Nedra, 1982, 239 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузин Алексей Васильевич — канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. геофизики Уральского государственного горного университета, kuzin-av@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4105-6567>;

Торхов Влад Сергеевич — студент 3 курса УГГУ, q185514@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-9604-9294>.

Для контактов: Кузин А. В., kuzin-av@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuzin A. V., Cand. Sci. (Geol. Mineral.), Docent kaf. geofiziki Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta;

kuzin-av@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4105-6567>

Torhov V. S., student 3 kursa UGGU, q185514@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-9604-9294>.

For contacts: Kuzin A. V., kuzin-av@mail.ru .

Получена редакцией 15.05.2023; получена после рецензии 04.10.2023; принята к печати 10.11.2023.

Received by the editors 15.05.2023; received after the review 04.10.2023; accepted for printing 10.11.2023.

