

комплексных измерений *in situ* интегрального β - и γ -излучений. Это значительно упрощает задачу стронциевого мониторинга, делая его более дешевым и экспрессным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Александрова Ж.Н.** Ядерно-физические измерения параметров ботанической реабилитации радиоактивно загрязненных площадей: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1998. 147 с.
2. **Возжеников С.Г., Бельшев Ю.В.** О градуировке аппаратуры для непрерывного контроля качества горно-рудного сырья // Изв. вузов. Горный журнал. 1992. № 3. С. 16-19.
3. **Измерение активности** источников бета- и гамма-излучений / Бочкарев В., Кеирим-Маркус И., Львова М., Пруслин Я. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 242 с.
4. **Методики определения** радиоактивных веществ в аэрозолях, воде, почве и продуктах питания. М.: Центр наблюдения и лабораторного контроля Госкомитета по чрезвычайным ситуациям России, 1992.
5. **Мосолов И.В.** Физиологические основы применения минеральных удобрений. М.: Колос, 1968.
6. **Несмеянов А.Н., Лапицкий А.В., Руденко Н.П.** Получение радиоактивных изотопов. М.: Госхимиздат, 1954. 192 с.
7. **Никипелов Б.В., Микерин Е.И., Романов Г.Н. и др.** Радиационная авария на Южном Урале в 1957 году и ликвидация ее последствий // Proc. of an Intern. Symp. on Recovery Operations in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency. Vienna, 1990. P. 373-403.
8. **Павлоцкая Ф.И.** Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. М.: Атомиздат, 1974. 215 с.
9. **Почвенно-экологические условия** накопления и перераспределения радионуклидов в зоне ВУРСа / Фирсова В.П., Молчанова И.В., Мещеряков П.В. и др. // Тр. Ин-та экологии раст. и жив. УрО РАН. Екатеринбург, 1996. 140 с.

УДК 550.838.502

В.Б. Виноградов, Л.А. Болотнова

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТРУБОПРОВОДА

Изучение технического состояния газопроводов в разных регионах нашей страны и за рубежом различными методами проводится уже десятки лет [2, 3, 5, 6]. Применение каждого метода имеет свои достоинства и недостатки, которые обусловлены особенностями геологического строения территории, на которой проложен трубопровод, и другими внешними условиями. В работе [3] указывается, что для оценки технического состояния газопроводов используется несколько десятков признаков. Из теории информации известно, что использование более 7 – 10 признаков для оценки объекта не приводит к существенному приросту информации, поэтому необходимо из всей совокупности признаков для конкретного трубопровода выбрать самые информативные и на их основе оценивать объект. К числу информативных признаков для рассматриваемой задачи относятся данные об аномальном магнитном поле. Существенный прирост информации о состоянии газопровода без значительных затрат может быть обеспечен более глубокой интерпретацией геофизических полей, в том числе магнитного поля [4].

В данной работе рассматривается применение магниторазведки для изучения газопроводов в условиях горнозаводского Урала. Успех решения данной задачи с помощью магнитной съемки зависит от геолого-геофизической обстановки, в которой находится трубопровод. Ее результаты зависят от направления, местоположения, глубины залегания газопровода, влияния техногенных магнитных полей, диаметра, длины, толщины стенок и магнитных свойств, ориентации труб, геологического строения участка, срока эксплуатации трубопровода и т. д.

Трубопровод состоит из труб, свойства которых определяются материалом, условиями нагрева и остывания в процессе изготовления, механических напряжений в процессе изготовления и эксплуатации. Магнитная восприимчивость труб колеблется в пределах от 10 до 60 ед. СИ. Трубы

намагничиваются в процессе изготовления и становятся магнитными двухполюсниками. Почти все трубы обладают высокой остаточной намагниченностью, к которой добавляется индуцированная намагниченность. Сведения об остаточной намагниченности можно получить только в результате экспериментальных исследований. По результатам наблюдений над трубами установлено, что коэффициент Кенигсбергера составляет 0,7–3. В магнитном поле каждая труба создает аномалию, т. е. каждое звено трубопровода характеризуется своей аномалией.

Некоторые оценки влияния направления газопровода на намагниченность, рассчитанные по формулам для горизонтального бесконечного кругового цилиндра, приведены в таблице. При вычислениях магнитная восприимчивость была принята равной 40 СИ, фактор Кенигсбергера был принят равным 2.

Зависимость составляющих намагниченности в зависимости от ориентации трубы в момент изготовления и укладки в траншею

Направление остаточной и индуцированной намагниченности	Величина намагниченности в направлении оси трубы, А/м	Величина намагниченности в направлении, ортогональном оси трубы, А/м
↑ / ↑	771	5 – 60
↑ / →	564	2 – 60
↑ / ↓	257	4 – 60
↑ / ←	464	10 – 60
→ / →	150	11 – 60
→ / ↑	357	20 – 60
→ / ←	50	11 – 60
→ / ↓	157	11 – 60

Суммарная намагниченность трубы в значительной степени зависит от ориентации трубопровода и ориентации трубы в траншее. Наименее благоприятный случай – слабо намагниченная труба укладывается в широтную траншею против поля (8 строка таблицы). При принятых условиях поле над трубой, обусловленное индуцированной намагниченностью, при меридиональной ориентировке трубы в 5 раз больше, чем при широтной ориентировке трубы. Из данных таблицы следует, что благоприятные условия для применения магниторазведки имеются на меридиональных газопроводах, условия для изучения широтных газопроводов не совсем благоприятны. Эти выводы подтверждаются результатами измерений магнитного поля при различной ориентации труб (рис. 1).

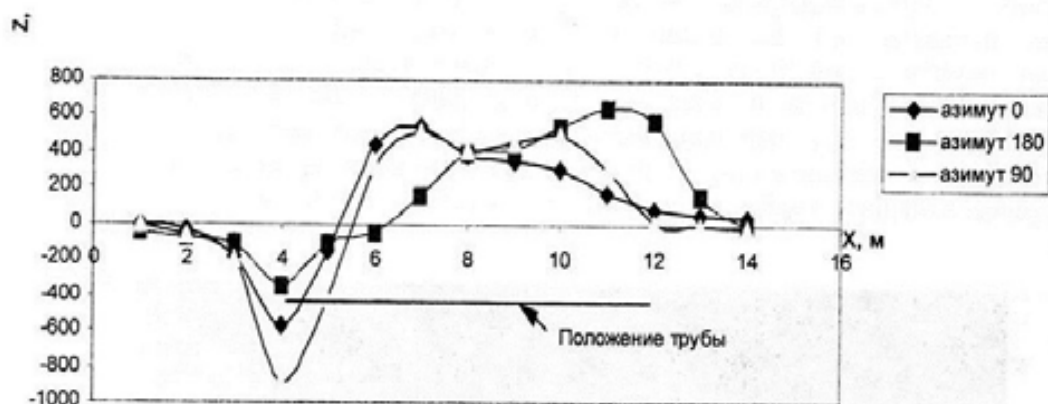


Рис. 1. Изменение магнитного поля в зависимости от ориентации трубы

Намагниченность внутри сильномагнитных тел, к которым относятся трубы, меняется по величине и направлению. Аналитического выражения для ожидаемой аномалии над трубой не существует, поскольку трубы намагничиваются неоднородно [1]. Неоднородность намагничивания труб находит яркое отражение в наблюдаемых магнитных полях (см. рис. 1).

Приближенную оценку ожидаемой аномалии можно получить на основе аппроксимации магнитного поля над трубой магнитным полем горизонтального схематического магнита, нТл

$$Z_a = 100Mh \left(\frac{1}{r_2^3} - \frac{1}{r_1^3} \right),$$

где r_1 и r_2 – расстояния от точки измерения до полюсов магнита, м; h – глубина до оси магнита, м; $M = JS$ (Ам); J – намагниченность (А/м); S – площадь поперечного сечения (кольца) (м²).

Так как труба относится к сильно магнитным объектам, то суммарное поле труб, соединенных одинаковыми полюсами, больше суммы полей отдельных труб. Это вызвано тем, что каждая труба помимо геомагнитного поля намагничивается достаточно сильным полем соседней трубы.

Трубопровод по своим геометрическим характеристикам относится к двумерным телам. Однако каждая труба является двухполюсником, поле двумерного тела трубы не является двумерным. Над местом соединения двух труб наблюдается магнитная аномалия, аномальное поле трубопровода не является двумерным, форма аномалии в плане не отражает форму объекта, его нельзя характеризовать графиками поля, измеренного по профилям, перпендикулярным оси трубопровода. “Трубопроводная аномалия” представляет собой двумерную квазипериодическую функцию, экстремальные значения которой соответствуют местам соединения отдельных труб.

В условиях горнозаводского Урала были проведены детальные площадные магнитные съемки на четырех участках газопроводов ООО “Уралтрансгаз” с различным геологическим строением. Трубопроводы относятся к сильномагнитным объектам, их кривые ΔT и Z_a сильно различаются, поэтому при истолковании магнитных полей нельзя пользоваться методами, разработанными для интерпретации вертикальной составляющей магнитного поля. Протонные магнитометры неустойчиво работают в резко изменяющихся магнитных полях. Вследствие этого измерения были проведены с прибором М-27М. Измерения проводились по сети 1×1 и 2×2 м с одновременной регистрацией вариаций магнитного поля.

Трубопроводы создают интенсивные магнитные аномалии амплитудой более 10000 нТл. На рис. 2, а приведен план изодинам над трубопроводом, проложенным на участке распространения слабумагнитных сланцев, магнитная восприимчивость которых не превышает 100×10^{-5} СИ. Определение местоположения сварных швов не представляет трудностей, им соответствуют экстремумы магнитного поля, отстоящие друг от друга на расстояние, равное длине трубы. Результаты работ часто представляют в виде графиков поля по профилям, проложенным в крест простираения трубопровода. На плане видно, что измерения по профилю, проложенному перпендикулярно оси трубопровода, над средней частью трубы не зафиксируют аномалию.

Особенность трех изученных участков состоит в наличии множества геологических объектов, обладающих повышенной намагниченностью. В отличие от платформенных условий [2], породы в горнозаводской части Урала, вмещающие газопровод, создают аномалии, сравнимые по амплитуде с аномалией, обусловленной трубопроводом. Газопровод расположен в области распространения небольших тел амфиболитов и тальк-карбонатных пород, их магнитная восприимчивость может достигать 20000×10^{-5} СИ. Интенсивность создаваемых ими аномалий достигает 2000 нТл. Особенность задачи состоит в том, что при выявлении аномалии от техногенного объекта аномалии, обусловленные влиянием вмещающих горных пород являются помехой.



Рис.2 Магнитное поле трубопроводов в простых (а) и сложных (б) геологических условиях

На рис. 2, б представлен план изодинам трубопровода, пересекающего дайки пород основного состава, обладающих повышенной намагниченностью. Интенсивные аномалии соответствуют дайкам

амфиболитов, а понижение поля на юге обусловлено влиянием шоссе. Длина труб на участке 16 м, мощность даек близка к длине труб. Аномалии отдельных звеньев трубопровода визуальны в магнитном поле не выявляются.

Магнитное поле участка с трубопроводом можно представить в виде

$$\Delta Z_{\text{набл}} = \Delta Z_{\text{газопров}} + \Delta Z_{\text{пород}} + \Delta Z_{\text{техн помех}} + \Delta Z_{\text{сут вар}} + \varepsilon_z$$

где ε_z – ошибки измерений, обусловленные неточной установкой прибора, и т. п. Поле $\Delta Z_{\text{газопров}}$ можно считать обусловленным влиянием трех труб, наиболее близко расположенных к точке измерения. Из наблюдаемого поля необходимо выделить “трубопроводную аномалию”.

Для разделения полей были использованы материалы крупномасштабных магниторазведочных работ, проведенных в изучаемом районе. Такие материалы позволяют определить характеристики аномалий-помех геологического происхождения и использовать процедуру геологического редуцирования для выделения аномалии трубопровода. Выделение аномалий трубопровода из наблюдаемого поля основывается на различии картины магнитного поля в плане. Аномалии труб знакопеременные, в первом приближении близки к аномалии диполя. Так как нижние кромки геологических объектов находятся глубоко, то магнитные аномалии не имеют минимумов на флангах. Аномалия трубопровода быстро затухает при удалении от оси трубопровода на 2–3 м. Аномалии, обусловленные дайками магнитных пород, затухают медленнее. Выделение аномального поля трубопровода осложняется тем, что оно зависит от ориентации отдельных звеньев трубопровода. Заранее неизвестно, какое направление имеет намагниченность каждого звена. Проведение площадной съемки позволяет разделить аномалии по возможным источникам

Повышение эффективности результатов магнитной съемки может быть достигнуто применением современных компьютерных технологий разделения и интерпретации, магнитных полей и разработки специальных способов интерпретации аномалий “трубопроводного типа”. Эффективными процедурами обработки в наших случаях оказались аналитическая аппроксимация наблюдаемых полей совокупностью горизонтальных схематических магнитов одинаковой длины и аналитическое продолжение поля в нижнее полупространство.

На рис. 3 приведен пример обработки на основе аналитической аппроксимации магнитного поля на участке “Дорожный”. Особенность участка в том, что близко от трубопровода находится шоссе. В магнитном поле экстремальными значениями четко выделяются сварные швы. На рис. 3 приведены результаты аналитического продолжения поля в нижнее полупространство на глубину 1 м. Аналитическое продолжение магнитного поля в нижнее полупространство позволяет локализовать местоположение трубы в разрезе и в плане. На карте изодинам трубопровод выделяется линейно вытянутой цепочкой аномалий разного знака.

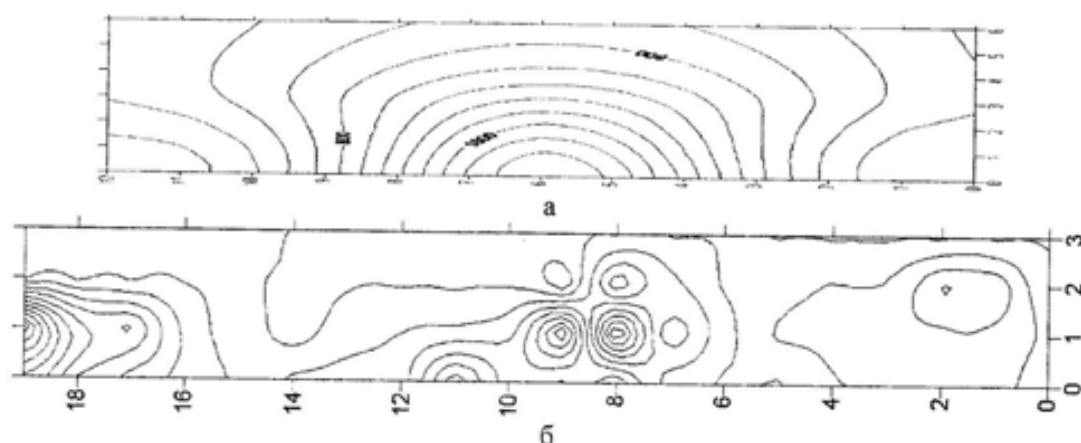


Рис. 3. Магнитное поле газопровода в вертикальной плоскости по профилю, ортогональному оси трубопровода (а), и план изодинам участка на глубине 1 м (б)

Известно, что со временем вследствие разрушения остаточной намагниченности происходит изменение магнитных полей техногенных объектов, изготовленных из стали. Газопроводы постоянно находятся под воздействием механических напряжений, обусловленных изменением давления газа, вибрации, агрессивного воздействия внешней среды, что неизбежно приводит к изменению намагниченности. Для контроля технического состояния трубопроводов необходимо проводить мониторинг их магнитного поля. Так как 70 % аварий происходит на удалении не более

25 км от станции нагнетания, то крупномасштабную площадную магнитную съемку необходимо проводить на этих участках.

Выводы

Изучение газопроводов должно осуществляться с помощью площадных магнитных съемок крупного масштаба. Интерпретация полей должна проводиться с учетом полей-помех, обусловленных особенностями геологического строения и техногенных факторов территории, на которой проложен трубопровод. Для выделения аномалий "трубопроводного типа" методом геологического редуцирования необходимо использовать материалы крупномасштабных наземных магниторазведочных работ. Для истолкования необходимо использовать современные технологии разделения полей и способы интерпретации, специально разработанные для трубопроводов. Важным методом контроля состояния газопроводов должны стать режимные наблюдения (мониторинг) магнитного поля вблизи станций нагнетания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блох Ю.И. Намагниченность моделей аппроксимирующих геологических объектов // Геофизика. 1998. С. 42–44.
2. Еременко А.В., Модин И.Н., Паленов А.Ю. Электрический потенциал и магнитное поле над трубопроводами // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Тез. докл. сем. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 220–221.
3. Киселев С.Е., Сапунов В.А., Некрасов И.А. Применение метода протонной магниторазведки для исследования магистральных газопроводов // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Тез. докл. сем. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 127–128.
4. Кобрунов А.И. Информационная модель геофизических исследований // Геофизика. 1997. № 3. С. 18–26.
5. Крапивский Е.И., Кобрунов А.И., Демченко Н.П. Комплексирование дистанционных геофизических методов для оценки технического состояния трубопроводов // Российский геофизический журнал. 2000. № 19–20. С. 99–104.
6. Breiner S. Applications Manual for portable magnetometers. GeoMetrics. 1995. 60 s.

УДК 550.873

А.В. Кузин

ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЕ ВЭЗ ВБЛИЗИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ПОМЕХИ

В практике электроразведочных работ часто профили исследований пересекают линейные электропроводные объекты: подземные кабели, трубопроводы, железнодорожные магистрали и т. п. Интерпретационные формулы электроразведки составлены для горизонтально-слоистого или блокового распределения природных электропроводных сред. Линейные объекты вносят существенные искажения в интегральную геоэлектрическую характеристику разреза, учесть которые непросто. Известны расчеты влияния на результаты ВЭЗ линейных объектов типа ров, уступ, гряда, долина [2, 3]. В этих моделях используются или две однородные изотропные среды, или однородная изотропная и изолятор. В случае с реальной электропроводной помехой ее электрическая связь с природной средой чаще всего неоднородная вследствие различного переходного сопротивления между протяженной помехой и вмещающей средой. Так что даже теоретические расчеты искажающего влияния линейного объекта затруднены. Потому целесообразно исследовать влияние идеализированной линейной помехи на результаты ВЭЗ путем изучения однородных по электропроводности моделей и поискать приемы исключения или уменьшения влияния помехи.

Мы при выполнении электроразведочных работ методами ЕП и ВЭЗ в окрестности ст. Билимбай на Среднем Урале в 2001 г. столкнулись с искажающим влиянием электропроводной