

УДК 622.272:5503

Е.К. Бабец, канд.техн.наук, с.н.с., член корреспондент АГНУ, директор

В.И. Чепурной, зав. лабораторией,

С.И. Ляш, старший научный сотрудник,

С.И. Корняшик, младший научный сотрудник,

Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»

О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ЕИЭМПЗ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИЛЕГАЮЩЕГО К ВЕРТИКАЛЬНЫМ ШАХТНЫМ СТВОЛАМ

Показано, что метод ЕИЭМПЗ можно использовать для эффективного картирования состояния потоков подземных вод породного массива, прилегающего к вертикальным шахтным стволам, с распределением направлений водотоков, областей их нарушений и разрывов.

Ключевые слова: породный массив, естественное импульсное электромагнитное поле Земли, полярный диэлектрик, дипольный момент, подземные воды.

Показано, що метод ПЕМПЗ можливо використовувати для ефективного картування стану потоків підземних вод породного масиву, прилеглому до вертикальних шахтних стволів, з розподілом ліній потоків, областей їх порушень та розривів.

Ключові слова: породний масив, природне імпульсне електромагнітне поле Землі, полярний діелектрик, дипольний момент, підземні води.

Shown that the method NPEMFE can be used to for efficient mapping of groundwater status of rock mass, adjoining the vertical shaft with the distribution lines of directions lines of water streams, areas of their violations and gaps.

Keywords: rock mass, natural pulsed electromagnetic field of the Earth, polar dielectric dipole moment groundwater.

Актуальность работы. Вода представляет природный флюид, который существует повсеместно в породном массиве. В виду различия давлений в разных точках одного и того же пласта подземные воды, как правило, находятся в движении. Благодаря своей структуре вода сама по себе, без наличия в ней избытка ионов определенного знака, может быть источником электромагнитного поля, в том случае, когда она образует поток, то есть совершает упорядоченное движение от источника к стоку. Вода является диэлектриком с большой диэлектрической проницаемостью. Указанное свойство воды связано с тем, что молекулы H_2O имеют собственный электрический дипольный момент. Движение молекул H_2O в потоке при наличии разности давлений приводит к тому, что электромагнитный диполь ориентируется преимущественно вдоль линий

потока, испытывая отклонения (флуктуации) в поперечном потоку направлении, что связано с флуктуациями давления в текущей струе. Наличие поперечных флуктуаций дипольного момента означает наличие токов поляризации. Поперечные флуктуации дипольного момента в потоке эквиваленты круговым токам, замыкающимся вокруг линий потока жидкости, и могут приводить к возникновению переменных электромагнитных полей с магнитной компонентой, направленной вдоль течения потока жидкости.

Специфика строения геологической среды на уровне породного массива заключается в том, что последний представляет собой пористую флюидонасыщенную систему. В такой системе в результате избирательной адсорбции ионов из жидкости как твердая, так и жидкая фазы становятся заряженными при сохранении нейтральности горной породы в целом. Перенос зарядов (электрический ток) в жидкой фазе осуществляется не только электрическим полем (миграционный ток), но и под действием возникающих в ней градиентов концентрации ионов (ионно-диффузионный ток, ток вызванной поляризации) и внутривещного давления (ток обратного электроосмоса, ток течения). При наличии в породе сред с электронной проводимостью возникают дополнительные сторонние электрические поля электрохимического происхождения. В такой среде становятся возможными взаимные переходы одних геофизических полей в другие (например, сейсмического поля в электрическое и обратно), частотная дисперсия электрических свойств (вызванная положением полей поляризации среды) и разнообразные электрохимические явления. Специфика энергетического состояния геологической среды заключается в том, что последняя обладает значительной потенциальной энергией (прежде всего механической, а также химической и др.). В силу гетерогенного строения горной породы эта энергия распределена чрезвычайно неравномерно, что приводит к локальной неустойчивости такой системы. Слабые воздействия на такую среду (природного или искусственного происхождения) могут приводить к значимым изменениям свойств системы (например, к изменению ее геоэлектрического разреза). Столь специфические свойства геологической среды позволяют геофизикам получать информация, как о ее строении, так и о протекающих в ней процессах.

При строительстве и последующей долговременной эксплуатации вертикальных шахтных стволов состояние подземных вод породного массива, прилегающего к стволам, подвергается многочисленным изменчивым воздействиям.

Вследствие высокого содержания сульфатов аммония, щелочных элементов, межпластовые воды водоносных горизонтов, прилегающих к вертикальным шахтным стволам, являются сильным электролитом, в

котором гидрогеологические процессы идут активно и носят явно выраженный электролитический характер. Под влиянием электролитических растворов состояние подземных вод породного массива вокруг вертикальных шахтных стволов подвергается структурным преобразованиям, что приводит к потере прочностных свойств массива, возможности возникновения аварийных ситуаций бетонной крепи стволов.

Структурные преобразования состояния подземных вод породного массива, прилегающего к вертикальным шахтным стволам, имеет сугубо индивидуальный характер, поэтому прогнозирование названных преобразований расчетным путем невозможно. Для определения реальной картины структурных преобразований состояния подземных вод породного массива необходимо иметь бесконтактный аппаратный геофизический метод исследования состояния подземных вод породного массива, прилегающего к вертикальным шахтным стволам, в основе которого может быть заложен геофизический метод регистрации параметров естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).

Изложение основного материала и результаты. Естественное импульсное электромагнитное поле Земли возникает в локальных естественных электрических полях, создаваемых природными электронными проводниками, фильтрационными, диффузионно-сорбционными и другими происходящими в породном массиве процессами [1].

К локальным естественным электрическим полям относятся электрохимические, фильтрационные, диффузионные, термофильтрационные (меняющиеся во времени) и другие.

Изменения в естественных электрических полях создают импульсное электромагнитное поле, которое характеризуется частотой следования импульсов и их амплитудой. В зависимости от преобладающего процесса, создающего естественное электрическое поле, изменяется средняя частота следования импульсов, а от интенсивности процесса – амплитуда сигналов [2].

Исследования импульсного электромагнитного поля основано на использовании скин-эффекта (возрастание поглощения электромагнитной энергии в проводящей среде при увеличении частоты возбужденного в нем поля). Это позволяет использовать метод ЕИЭМПЗ для выявления, прослеживания, выделения и трассирования водных потоков, как в осадочном чехле, так и в кристаллическом породном массиве, прилегающем к вертикальным шахтным стволам [3].

Метод ЕИЭМПЗ используется при геологических и инженерно-геологических исследованиях. Наряду с наземными наблюдениями методом ЕИЭМПЗ производятся измерения естественного поля в скважинах и горных выработках. Методика и техника работ определяется характером задач и

условий, в которых они решаются. Методы электроразведки, использующие переменное электрическое поле, основаны на решении системы уравнений Максвелла, которое приводит к волновому уравнению (уравнение Гельмгольца).

Гармоническое электромагнитное поле при удалении от источника затухает с глубиной по экспоненциальному закону

$$\exp(-kz) = \exp\left(\frac{\varpi\mu}{2\rho} z\right) \exp\left(\frac{\varpi\mu}{2\rho} z\right),$$

где k – волновое число среды, комплексный параметр, зависящий от свойств среды и круговой частоты ϖ изменения поля;

μ – магнитная проницаемость среды;

ρ – удельное электрическое сопротивление среды;

z – глубина.

Первый множитель является коэффициентом затухания поля с глубиной. Поле затухает быстрее в более проводящей среде – при малых значениях ρ и высоких частотах изменения поля ϖ . Второй множитель определяет фазу электромагнитной волны

$$\exp\left(i\sqrt{\frac{\varpi\mu}{2\rho}} z\right) = \cos\sqrt{\frac{\varpi\mu}{2\rho}} z + i \cdot \sin\sqrt{\frac{\varpi\mu}{2\rho}} z .$$

Длина электромагнитной волны (в м) в проводящей среде

$$\lambda = 1000 \sqrt{\frac{\rho}{f}} ,$$

где $f = \frac{1}{T} = \frac{\varpi}{2\pi}$ – частота поля в Гц; T-период колебаний в с.

Если источник поля – электрический диполь, направленный вдоль оси x, то компоненты электромагнитного поля могут быть найдены по скалярной потенциальной функции U и соответствующим вектор – потенциала A_x, A_y, A_z .

Электрические свойства горных пород тесно связаны с их минеральным и петрографическим составом, структурой, влагонасыщенностью, температурой, давлением, гидрогеологическими условиями и отличаются стационарностью, то есть при неизменных условиях

не зависят от времени измерения. Пределы измерений электрических свойств горных пород представлены в таблице 1 [4, 5, 6].

Таблица 1

Пределы изменения электрических свойств породообразующих минералов

Минералы	Удельное электрическое сопротивление, Ом	Диэлектрическая проницаемость, Ф/м
1	2	3
Апатит	10^{12}	5,8
Биотит	10^{14}	10,3
Боксит	10^{11}	10,9
Вермикулит	10^{10}	9,5-13,5
Гематит	10^6	25,0
Гипс	10^{12}	6,3-8,2
Графит	10^4	$\geq 81,0$
Доломит	10^9	6,3-8,2
Ильменит	10^{14}	33,7-81,0
Кальцит	10^{13}	7,5-8,7
Кварц	10^{16}	4,5-6,0
Магнетит	10^5	33,7-81,0
Пирит	10^3	33,7-81,0
Сидерит	10^2	5,2
Тальк	10^{15}	5,8
Халькопирит	10^4	$\geq 81,0$
Хромит	10^3	11,0

Глубина проникновения электромагнитных волн определяется электрическими пород и может быть определена по формуле

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\frac{\mu \omega}{2\rho}}},$$

где δ – глубина проникновения электромагнитных волн;

μ – магнитная проницаемость среды;

ω – круговая частота электромагнитных волн;

ρ – удельное электрическое сопротивление горных пород.

Эффективная глубина проникновения электромагнитных волн варьирует от нескольких сантиметров до сотен метров в зависимости от

электропроводности горного массива. Экспериментами установлено, что в практически однородных и изотопных средах можно определять азимутальную неоднородность электрических свойств и явлений регенерации. Азимутальная неоднородность электропроводности, характерна для песков и глины, установлена также в поверхностном слое техногенных образований (асфальт, бетон), водах искусственных водоемов, прибрежных частях моря. Положение экстремумов азимутальной неоднородности в стабильной обстановке довольно однотипно на значительной территории. Дестабилизация на отдельных участках свидетельствует о геодинамических явлениях в породном массиве.

Исследования методом ЕИЭМПЗ состояния подземных вод породного массива, прилегающего к вертикальному шахтному стволу, проводились в околовольном пространстве шахтного ствола «Вентиляционный» ЦПТ дробильной фабрики ПАО «ИнГОК». Измерения проводились с помощью аппаратуры МИЭМП-4/1 (серия «Симеиз») с тремя высокочастотными антеннами.

В геологическом строении данной территории принимают участие верхнеархерейские и нижнепротерзойские комплексы пород, слагающих кристаллический фундамент и осадочные породы кайнозойского чехла.

Гидрогеологические условия рассматриваемого района определяются водоносными горизонтами осадочной толщи и трещинных зон кристаллического фундамента. К четвертичным отложениям приурочена так называемая «верховодка», водообильность которой сильно зависит от поверхностных вод. В понтическом водоносном горизонте подземные воды приурочены к нижней части трещиноватых известняков и залегают на глубинах от 6,71 до 27,33 м. Подземные воды сарматского водоносного горизонта приурочены к известнякам, отдельным прослоям мергелей и нижнесарматским пескам. В зависимости от рельефа местности подземные воды данного горизонта залегают на глубинах 1,95 до 33,40 м. Киевский водоносный горизонт локализован в песках киевской свиты на глубинах от 33,0 до 43,80 м. Подземные воды докембрийских пород приурочены к трещиноватым зонам. Их водоносность тесно связана со степенью трещиноватости. Характеристика подземных вод исследуемого района представлена в таблице 2.

Для производства измерений территория вокруг шахтного ствола «Вентиляционный» была разбита на профили. Для контроля за показаниями прибора наблюдения на профилях начинались и завершались на контрольных пунктах. Результаты исследований обрабатывались с помощью программы обработки «Геоимпульс», которая позволяет разделить электромагнитные импульсы естественного поля Земли по различным полосам частот, определить зависимость амплитуды или количества импульсов от номера

пикета (номера измерения) по частотным полосам. Экспериментально установлено, что высокочастотная полоса фиксирует состояние потоков подземных вод природного массива прилегающего к вертикальным шахтным стволам. Сравнение полученной картины магнитной составляющей ЕИЭМПЗ с известными гидрогеологическими данными о расположении подземных водных потоков позволяет сделать заключение о том, что распределение значений магнитной составляющей сигнала интенсивности ЕИЭМПЗ точно воспроизводит линии потока подземных вод.

Таблица 2

Характеристика подземных вод в районе шахтного ствола
«Вентиляционный» ЦПТ дробильной фабрики ПАО «ИнГЭК»

Параметр	Единица измерения	Количество
1	2	3
HCO ₃	Мг/л	329,4
S	Мг/л	797,8
Ca	Мг/л	260,5
Mg	Мг/л	231,0
Na	Мг/л	758,7
K	Мг/л	33,0
NO ₃	Мг/л	22,5
CO ₂	Мг/л	17,6
Fe ₂ O ₃	Мг/л	12,0
Сухой остаток	г/л	411,0
Жесткость	Мг.экв./л	32,0
pH		17,4
Приток	м ³ /сутки	120,0

Выводы

1. При строительстве и последующей долговременной эксплуатации вертикальных шахтных стволов состояние подземных вод породного массива, прилегающего к стволам, подвергается многочисленным изменчивым воздействиям.

2. Вследствие высокого содержания сульфатов аммония, щелочных элементов, межпластовые воды водоносных горизонтов, прилегающих к вертикальным шахтным стволам, являются сильным электролитом, в котором гидрогеологические процессы идут активно и носят явно выраженный электролитический характер. Под влиянием электролитических растворов состояние потоков подземных вод породного массива вокруг вертикальных шахтных стволов подвергается структурным преобразованиям, что приводит к потере прочностных свойств массива, возможности возникновения аварийных ситуаций бетонной крепи стволов.

3. Структурные преобразования породного массива, прилегающего к вертикальным шахтным стволам, имеет индивидуальный характер, поэтому прогнозирование названных преобразований расчетным путем невозможно. Для определения реальной картины структурных преобразований породного массива необходимо иметь бесконтактный аппаратный геофизический метод исследования состояния потоков подземных вод породного массива, прилегающего к вертикальным шахтным стволам, в основе которого может быть заложен геофизический метод регистрации параметров естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).

4. Естественное импульсное электромагнитное поле Земли возникает в локальных естественных электрических полях, создаваемых природными электронными проводниками, фильтрационными, диффузионно-сорбционными и другими происходящими в породном массиве процессами.

5. Предварительные исследования, проведенные на шахте «Вентиляционная» ЦПТ ДФ ПАО «ИнГЭК» показали, что метод ЕИЭМПЗ можно использовать для эффективного картирования состояния потоков подземных вод породного массива, прилегающего к вертикальным шахтным стволам, с распределением направлений водопотоков, областей их нарушений и разрывов.

Список использованных источников

1. Frid V., Rabinovitch A. and Bahat D. Fracture induced electromagnetic radiation /Journal of Physics D: Applied Physics J. Phys. D: Appl. Phys 36 (2003), 1620-1628.

2. Белых И.С., Довбнич М.М., Кузина Г.П. и др. Результаты применения метода наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для анализа состояния грунтового массива в сфере взаимодействия с подземными сооружениями /Научный вісник НГУ, 2004. – №9.

3. Бахова Н.И. Явления электризации горных пород при механическом нагружении /Геофизический журнал, 2006. – №4. – С.121-126.

4. Якубовский Ю.В. Электроразведка. М. Недра, 1973. – 272 с.

5. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. Под ред. Н.В. Мельникова, М.М. Ржевского, М.М. Протождяконова. М. Недра, 1975. – 279 с.

6. Справочник геофизика Т.3. Электроразведка. М. Гостоптехиздат, 1963. – 582с.

Рукопись поступила 28.07.2015