

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-153-159>

УДК 550.34.06, 550.8.056

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ РАЙОНОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

В. Н. Шайторов*, А. К. Жолдыбаев, Н. Н. Кушербаева, М. В. Шульга

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

*E-mail для контактов: shaitorov@kndc.kz

Для ослабления влияния индукционных помех на данные электроразведки методом дипольных зондирований с регистрацией вызванной поляризации (ДЭЗ-ВП) показана эффективность обработки данных полевых наблюдений на основе дифференциального фазового параметра (ДФП) с использованием результатов спектральных измерений ВП аппаратурой ВПФ-8к.

Ключевые слова: электроразведка, индукционные помехи, электрическое сопротивление, поляризуемость, дифференциальный фазовый параметр (ДФП), обводнённость.

ВВЕДЕНИЕ

Применение электроразведки при решении задач по геоэкологической диагностике районов расположения объектов атомной отрасли вполне закономерно и обосновано. Прежде всего, это связано с тем, что именно геоэлектрические параметры (электрическое сопротивление и поляризуемость), как показано в работах [1–3 и др.], наиболее чувствительны к изменению влажности геологических сред и проявлениям в них геодинамических и деформационных процессов. При реализации этих предпосылок методами сопротивлений и вызванной поляризации актуальной задачей для техногенно-нагруженных территорий, прилегающих к объектам атомной отрасли, является ослабление влияния индукционных помех, формирующих значительные аномалии вызванной поляризации, превышающие природные ожидаемые эффекты.

Целевым назначением исследований ставилось развитие технологии электроразведки в параметрах электрического сопротивления и поляризуемости для выделения целевых аномальных эффектов, связанных с обводнённостью геологической среды, на фоне индукционных помех. Результаты этих исследований являются предметом рассмотрения в настоящей статье.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приводятся результаты анализа литературных данных и полевых экспериментов по повышению достоверности данных электроразведки в условиях электрических помех.

Результаты анализа литературных данных и полевых экспериментов по повышению достоверности данных электроразведки геологической среды в условиях электрических помех

Еще в 70-х годах прошлого столетия [4] установлено, что промышленные помехи характеризуются большим разнообразием в отношении интенсивности (до единиц В/м), частоты и поведения во времени. Из-за их влияния электроразведка на постоянном токе в ряде районов оказывается не эффективной и ре-

комендовано такие работы проводить на переменном токе.

Решение задачи подавления помех в низкочастотной электроразведке на основе разработанного специализированного программного обеспечения для различных типов фильтрации наблюденного сигнала представлено в работе [5]. Показана эффективность существенного ослабления низкочастотного тренда, визуально наблюдаемых наводок 50 Гц и спорадических помех.

Природа аномальных эффектов в электрическом сопротивлении при наличии в геологической среде металлических электропроводящих неоднородностей в геологической среде, существенно изменяющих измеряемые значения кажущегося сопротивления приведена в работах [6, 7]. Линейный или локальный проводник при приближении к нему питающего электрода становится заряженным телом, что создает ложные аномальные эффекты повышенной электропроводности и поляризуемости.

Согласно инструкции [8] основными способами ослабления индукционных помех являются проведение измерений на переменном токе, в интервалах времени, когда интенсивность помех минимальна, увеличение силы поляризующего тока. В статье [9] для решения этой задачи рекомендуются ортогональные дипольные установки, измерения с установками и на частотах, в пределах которых влияние индукционных эффектов не превышает некоторой наперед заданной величины или влияние индукции на поле линейно зависит от частоты. В последнем случае при проведении измерений на двух или трёх частотах согласно [10], можно в процессе обработки выделить из наблюденного поля его линейную часть, связанную с индукцией. Особенностью приведённых рекомендаций является их недостаточная эффективность в условиях интенсивных индукционных помех и необходимость привлечения данных по их фазо-частотным характеристикам, получение которых при обычном способе измерений ($\Delta U_{ВП}$) требует значительных трудозатрат.

Эффективное решение задачи подавления индукционных помех стало возможным лишь с применением фазового метода измерения вызванной поляризации. В работах [11, 12] показано, что для борьбы с явлениями электромагнитной индукции, которая, как и вызванная поляризация может приводить к значительным фазовым сдвигам сигнала, эффективно использование дифференциального фазового параметра (ДФП). Применение ДФП основано на том, что фаза индукции прямо пропорциональна частоте. Дифференциальный фазовый параметр построен таким образом, что он подавляет линейную компоненту фазы, не меняя её постоянной составляющей.

Учитывая актуальность задачи подавления индукционных помех в электроразведке ВП в районе объекта КИР «Байкал-1», проведены эксперименты по повышению достоверности данных этого метода в части совершенствования технологии обработки данных на основе ДФП с использованием результатов спектральных измерений ВП аппаратурой ВПФ-8к (разработка ИГИ) [13]:

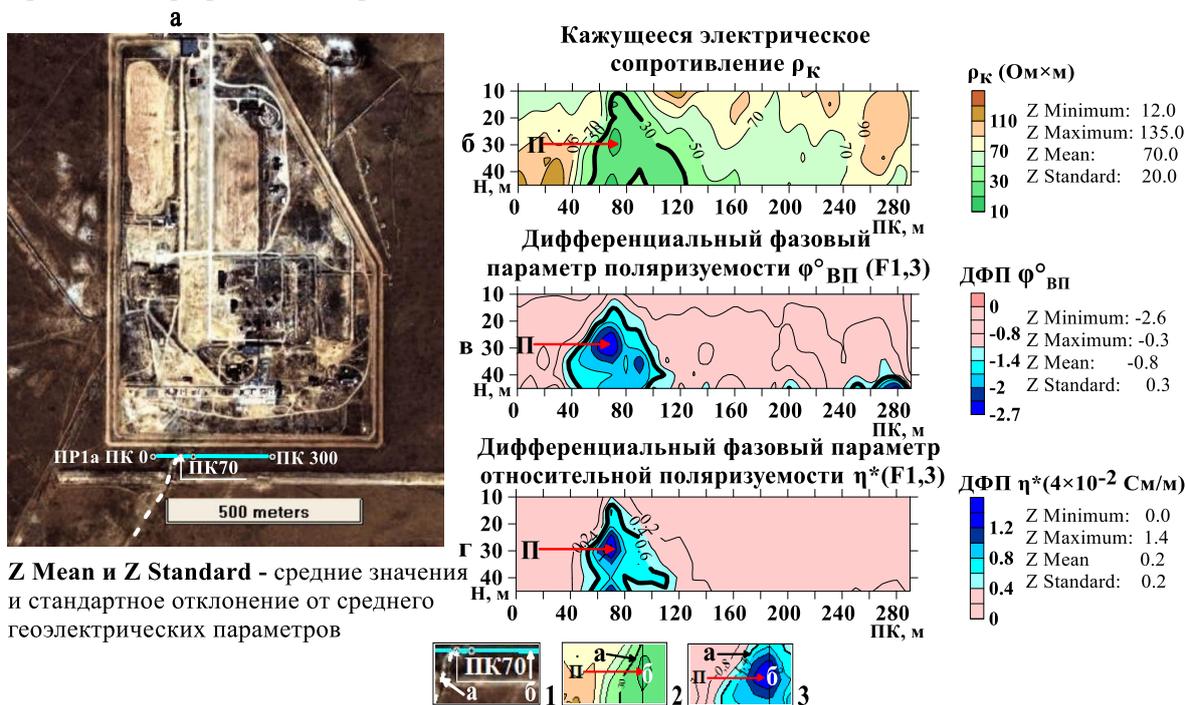
$$\text{ДФП}\Delta\varphi = [\varphi(\omega_2)\omega_2 - \varphi(\omega_1)\omega_1] / (\omega_2 - \omega_1),$$

где φ – измеренные фазы на 1,3; 3,9; 5,15; 7,21 гармониках частоты ω .

При этом для ослабления влияния электрического сопротивления разреза на измеряемые значения

поляризуемости использован параметр относительной поляризуемости η^* , для которого, как показано в статье [14], в ионопроводящих средах справедливо соотношение $\eta^* \approx \eta/\rho$, где: η – поляризуемость ($\eta = -2,5 \cdot \Delta\varphi$), ρ – удельное электрическое сопротивление. Пример входных данных, полученных на частоте 0,152 Гц с привлечением традиционно применяемого ДФП по гармоникам F1,3, приведён на рисунке 1.

Как видно из этого рисунка, основной закономерностью распределения геоэлектрических параметров в разрезе на глубину до 45 метров является наличие в нём контрастной электропроводящей зоны (рисунок 1 б) и повышенной поляризуемости (рисунки 1 в, г) в интервале ПК 45-55 – 115-120 на глубинах от 15 до 45 метров. При этом максимальные аномальные эффекты в электрическом сопротивлении и поляризуемости приурочены к ПК 70. В целом, как следует из приведённого рисунка, ДФП, рассчитанный по первой и третьей гармоникам, индукционную помеху практически не ослабляет. В этой связи проведён анализ ДФП по всем гармоникам, зарегистрированным измерителем ВПФ-8к на частоте 0,152 Гц (рисунок 2).



Z Mean и Z Standard - средние значения и стандартное отклонение от среднего геоэлектрических параметров

- 1 – фрагмент предполагаемого металлического трубопровода (а) и линия профиля 1а (б);
- 2, 3 – области значений геоэлектрических параметров, превышающие удвоенное стандартное отклонение от среднего (а) и максимальной проявленности индукционной помехи П (б)

Рисунок 1. Площадка КИР «Байкал-1» (а). Результаты электроразведки ДЭЗ-ВП в области влияния индукционной помехи при традиционной обработке данных: геоэлектрические разрезы по профилю 1а в параметрах кажущегося сопротивления (б), дифференциальных фазовых параметров поляризуемости (в) и относительной поляризуемости (г), рассчитанных для первой и третьей гармоник (F1,3) сигнала

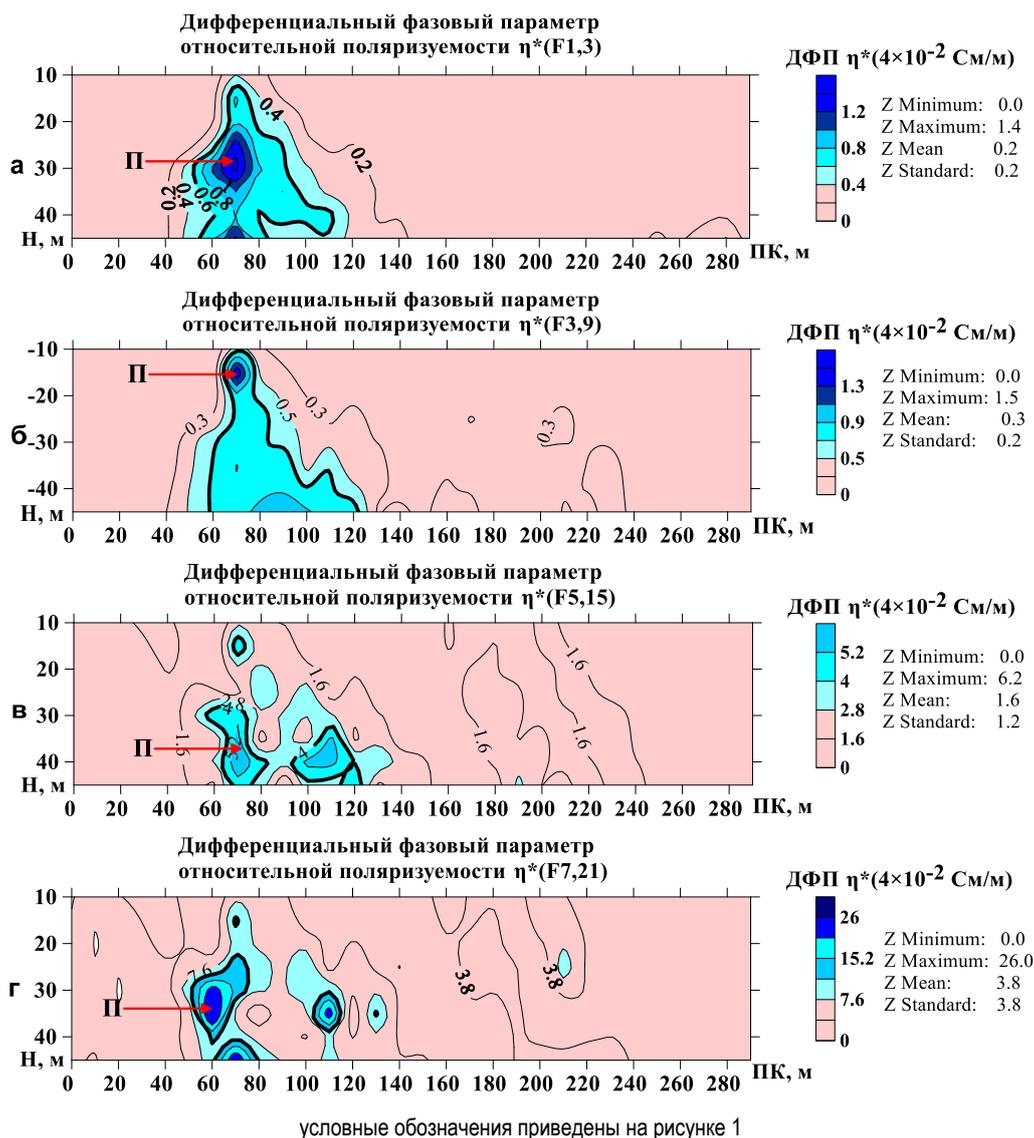


Рисунок 2. Площадка КИР «Байкал-1», профиль 1а. Геоэлектрические разрезы в дифференциальных фазовых параметрах относительной поляризуемости η^* для гармоник F1,3 (а), F3,9 (б), F5,15 (в) и F7,21 (г)

Как следует из данных, приведённых на рисунке 2, имеет место явная частотная зависимость пространственного распределения зон аномально повышенных значений ДФП. В диапазоне 0,152–0,456 Гц (рисунок 2 а гармоники F1,3) и 0,456–1,368 Гц (рисунок 2 б гармоники F3,9) аномальными значениями ДФП фактически отобразилась единственная зона, включающая индукционную помеху «П». Главное различие между этими зонами заключается в глубине залегания областей с максимальными значениями ДФП – порядка 30 метров для гармоник F1,3 и 15 метров для F3,9.

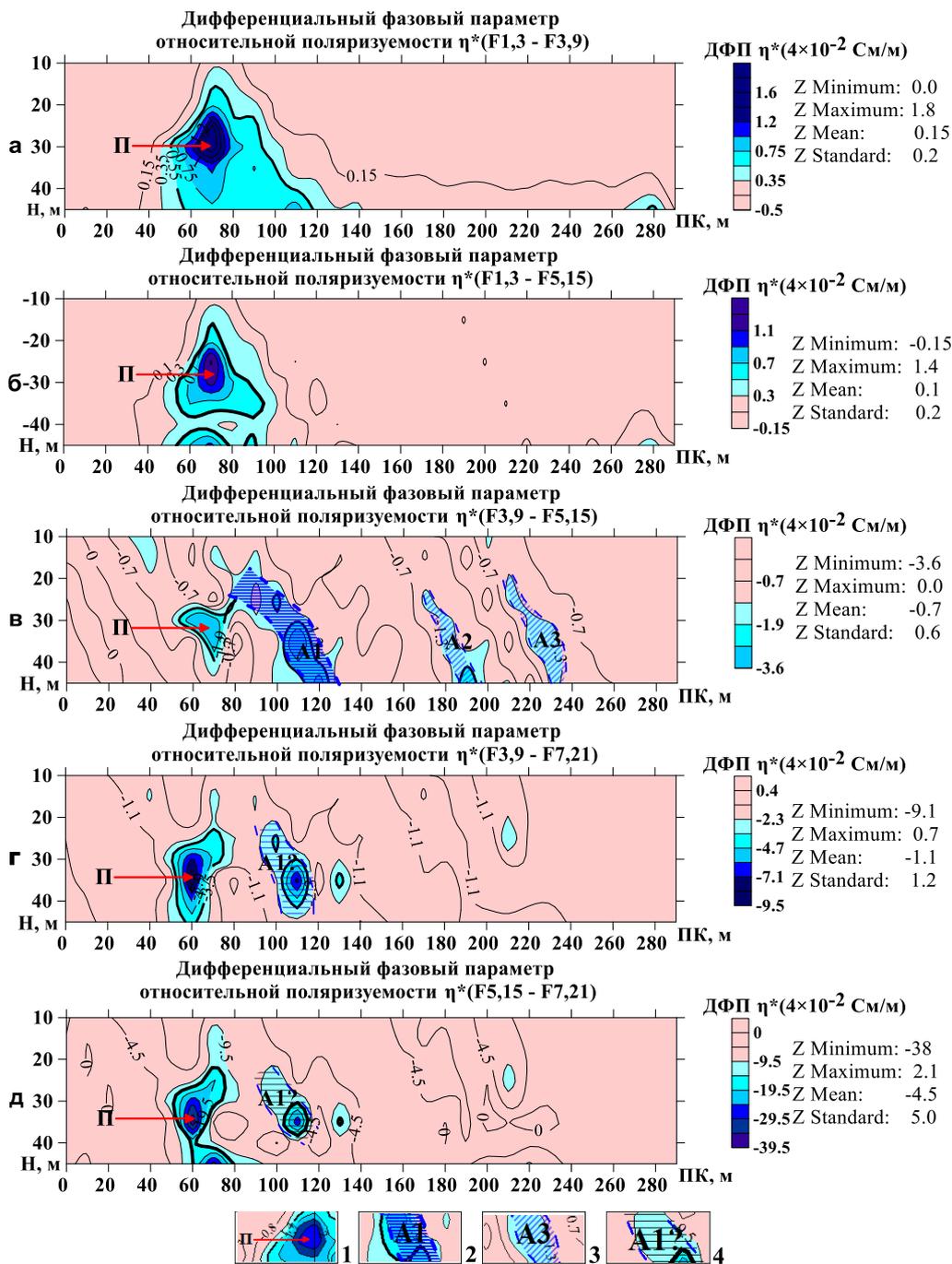
На более высоких частотах (рисунки 2 в, г) область аномальных значений ДФП в гармониках F1,3 и F3,9 распалась на две группы аномалий, одна из которых в интервале пикетов 50–80 на глубинах 25–45 метров пространственно увязывается с помехой «П». Другая – в интервале пикетов 65–120, наиболее про-

явленная в гармониках F5,15 (0,76–2,28 Гц), в совокупности представляет собой крутопадающую в восточном направлении зону мощностью порядка 20 метров. В меньшей степени она проявлена в гармониках F7,21. Наблюдаемые эффекты в гармониках F5,15 и F7,21 вызваны, как показано в работе [15], наличием в фазо-частотной характеристике относительной поляризуемости области максимальных значений этого параметра.

Принимая во внимание эти обстоятельства, для повышения соотношения сигнал/помеха на стадии обработки многочастотных наблюдений опробована технология расчёта ДФП по двум парам гармоник наблюдаемого сигнала согласно формуле, приведённой в работе [11]:

$$\text{ДФП} \Delta\varphi = \left[f_2^{3/2} \phi_{1,2}(f_1) - f_1^{3/2} \phi_{1,2}(f_2) \right] / (f_2^{3/2} - f_1^{3/2}).$$

Результаты расчётов приведены на рисунке 3.



1 – проявленность индукционной помехи в ДФП; 2, 3 – зоны повышенных абсолютных значений ДФП в гармониках F3,9–F5,15, интерпретируемые обводнёнными проницаемыми структурами A1, A2 и A3, уверенно выделенными (2) и предполагаемыми (3); 4 – предположительно фрагменты структуры A1, проявленные в ДФП гармоник F3,9–F7,21 и F5,15–F7,21

Рисунок 3. Площадка КИР «Байкал-1», профиль 1а. Повышение достоверности выявления обводнённых проницаемых структур по данным электроразведки ДЭЗ-ВП в условиях индукционных помех по ДФП относительной поляризуемости по двум парам различных гармоник

Как видно из этого рисунка, после применения такой процедуры расчёта ДФП, в разрезах с участием низкочастотных гармоник F1,3 (рисунки 3 а, б) область аномально повышенных значений поляризуемости в интервале ПК50-100-120, представленная, главным образом помехой, не претерпела существен-

ных изменений. Совершенно другая картина распределения поляризуемости в разрезе по этому профилю получена при смещении ДФП в сторону высоких частот.

По всем трём парам гармоник (F3,9-F5,15; F3,9-F7,21 и F5,15-F7,21), как показано на рисунках

3 в, г, д, область аномально повышенных абсолютных значений ДФП относительной поляризуемости в интервале ПК50-100-120 ожидаемо трансформировалась, как минимум, в две зоны с горизонтальной мощностью порядка 20 метров каждая. Одна из них, вызванная индукционной помехой «П», локализовалась в интервале ПК 50-70. На удалении от неё порядка 20-30 метров (ПК 70-120) в этих гармониках прослежена зона А1 аномально повышенных абсолютных значений этого параметра в интервале глубин 20-45 метров различной протяженности. Наиболее проявленные эффекты повышения ДФП относительной поляризуемости получены в гармониках F3,9-F5,15 (рисунок 3 в).

Согласно этому рисунку, область влияния помехи «П» ограничена пространством размером не более 10×30 метров с центром ПК 66 на глубине 31 метр. Практический интерес представляет наличие в этом разрезе ДФП трёх линейно вытянутых зон повышенной поляризуемости. По превышению абсолютных значений ДФП относительно фоновых (до двух и более стандартных отклонений от среднего) наиболее значимой и уверенно выделенной представляется зона А1.

Принимая во внимание сведения, приведённые в работе [16] по корреляции областей максимальных значений этого параметра с повышенной влажностью грунтов, также расположение зоны А1 в наиболее электропроводящей части разреза (рисунок 1 б), она проинтерпретирована как обусловленная линейной ослабленной структурой с повышенной влажностью. Зоны А2 и А3, аномальные превышения ДФП в которых составляют до двух стандартных отклонений от среднего, отнесены к предполагаемым обводнённым структурам.

В целом, как следует из приведённых данных, анализ двухчастотных ДФП по всем гармоникам, зарегистрированным измерителем ВПФ-8к, позволил отранжировать их по степени ослабления индукционной помехи и подобрать оптимальный четырехчастотный ДФП, обеспечивающий наиболее эффективное ослабление индукционной помехи и повышение достоверности выявления и картирования обводнённых структур в условиях техногенных электромагнитных помех.

Таким образом, показана эффективность привлечения ДФП для ослабления влияния индукционных помех при проведении съёмки методом вызванной поляризации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены исследования по развитию технологии электроразведки в параметрах электрического сопротивления и поляризуемости для получения достоверной информации по обводнённым структурам в местах расположения объектов атомной отрасли в условиях интенсивных промышленных электрических помех.

На примере площадки КИР «Байкал-1» показана эффективность ослабления индукционных помех на

основе анализа всего спектра двухчастотных ДФП, зарегистрированных измерителем ВПФ-8к, и экспериментального обоснования четырехчастотного ДФП при обработке данных, получаемых методом ДЭЗ-ВП.

Принимая во внимание частотную зависимость пространственного распределения зон аномально повышенных значений ДФП, последующие исследования в этом направлении будут продолжены в части оценки эффективности использования ДФП как при снижении частоты зондирования, где индукционные эффекты снижаются, так и на повышенных частотах – в области максимума фазо-частотной характеристики грунта при различной его влажности.

Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR09158470).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарапанов Н.Н., Черняк Г.Я., Барон В.А. Методика геофизических исследований при гидрогеологических съёмках с целью мелиорации земель // М.: Недра, 1974. – 176 с.
2. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород – 2-е изд. // М.: Горная книга, 2012. – 264 с.
3. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики // М.: Недра, 1990. – 501 с.
4. Рекомендации по геофизическому обследованию закарстованных территорий, предназначенных для строительства. Москва – 1971.
5. Гераськин А. И. Подавление помех в низкочастотной электроразведке с искусственным источником тока. Пример применения на рудном месторождении в Магаданской области // Вестник МГОУ. 2010. – № 3. – С. 27–38.
6. Хмелевской В.К., Шевнин В.А. Электрическое зондирование геологической среды // Москва, МГУ. 1992. – 198 с. <http://geophys01.geol.msu.ru/shevnin/publ/63.pdf>
7. Кузин А.В. Трёхэлектродные ВЭЗ вблизи электропроводной линейной помехи // Известия Уральского государственной горно-геологической академии. Научно-технический журнал. Вып. 18. Серия геология и геофизика. Екатеринбург, 2003.
8. Инструкция по электроразведке // Ленинград: Недра. Ленинградское отделение, 1984.
9. Метод вызванной поляризации. <https://helpiks.org/3-99573.html>
10. Доброхотова И.А., Новиков К.В. Электроразведка // Учебное пособие. М.: РГГРУ, 2009.
11. Куликов А.В., Шемякин Е.А. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации // М.: Недра, 1978. – 157 с.
12. Куликов В.А., Зорин Н.И., Манжеева И.Т., Яковлев А.Г. Разделение аномалий вызванной поляризации по частотным характеристикам дифференциального фазового параметра // Журнал «Геофизика», 2013. – № 6. – С. 23–31.

13. Зорин Н.И., Мариненко В.А. Спектральные измерения ВП горных пород в естественном залегании с использованием высокоточной аппаратуры // Приборы и системы разведочной геофизики (60)/2017.
14. Комаров В.А. О природе электрических полей вызванной поляризации и возможностях их использования при поисках рудных месторождений // Вестник Ленинградского гос. ун-та. Серия геол. и геогр. 1957. – № 16. – С. 37–46.
15. Шевнин В.А. Бобачев А.А., Баранчук К.И. Лабораторные измерения сопротивления и параметров вызванной поляризации рыхлых грунтов для определения литологического строения разреза. Инженерные изыскания, 2014. – № 9–10. – С. 53–58.
16. Binley A., Slater L.D., Fukes M., and Cassiani G., 2005. Relationship between spectral induced polarization and hydraulic properties of saturated and unsaturated sandstone. Water resources research, Vol. 41, W12417.
7. Kuzin A.V. Trekhelektrodnye VEZ vblizi elektroprovodnoy lineynoy pomekhi // Izvestiya Ural'skoy gosudarstvennoy gorno-geologicheskoy akademii. Nauchno-tekhnicheskii zhurnal. Issue 18. Seriya geologiya i geofizika. Ekaterinburg, 2003.
8. Instruksiya po elektrorazvedke // Leningrad: Nedra. Leningradskoe otделение, 1984.
9. Metod vyzvannoy polarizatsii. <https://helpiks.org/3-99573.html>
10. Dobrokhotova I.A., Novikov K.V. Elektrorazvedka // Uchebnoe posobie. Moscow: RGGRU, 2009.
11. Kulikov A.V., Shemyakin E.A. Elektrorazvedka fazovym metodom vyzvannoy polarizatsii // Moscow: Nedra, 1978. – 157 p.
12. Kulikov V.A., Zorin N.I., Manzheeva I.T., Yakovlev A.G. Razdelenie anomalii vyzvannoy polarizatsii po chastotnym kharakteristikam differentsial'nogo fazovogo parametra // Zhurnal "Geofizika", 2013. – No. 6. – P. 23–31.
13. Zorin N.I., Marinenko V.A. Spektral'nye izmereniya VP gornykh porod v estestvennom zaleganii s ispol'zovaniem vysokotochnoy apparatury // Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki (60)/2017.
14. Komarov V.A. O prirode elektricheskikh poley vyzvannoy polarizatsii i vozmozhnostyakh ikh ispol'zovaniya pri poiskakh rudnykh mestorozhdeniy // Vestnik Leningradskogo gos. un-ta. Seriya geol. i geogr. 1957. – No. 16. – P. 37–46.
15. Shevnin V.A. Bobachev A.A., Baranchuk K.I. Laboratornye izmereniya soprotivleniya i parametrov vyzvannoy polarizatsii rykhlykh gruntov dlya opredeleniya litologicheskogo stroeniya razreza. Inzhenernye izyskaniya, 2014. – No. 9–10. – P. 53–58.
16. Binley A., Slater L.D., Fukes M., and Cassiani G., 2005. Relationship between spectral induced polarization and hydraulic properties of saturated and unsaturated sandstone. Water resources research, Vol. 41, W12417.

REFERENCES

АТОМ САЛАСЫ ОБЪЕКТІЛЕРІ ОРНАЛАСҚАН АУДАНДАРДЫ ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ДИАГНОСТИКАЛАУ КЕЗІНДЕ ЭЛЕКТР БАРЛАУДЫ ҚОЛДАНУ

В. Н. Шайторов*, А. К. Жолдыбаев, М. В. Шульга, Н.Н. Кушербаева

ҚР ҰЯО РМК «Геофизикалық зерттеулер институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

*Байланыс үшін E-mail: shaitorov@kndc.kz

Индукциялық кедергілердің электр барлау деректеріне әсерін әлсірету үшін туындаған поляризацияны (ПТ-ДЭЗ) тіркей отырып, дипольді зондтау әдісімен ВПФ-8к аппаратурасымен спектрлік өлшеу нәтижелерін пайдаланып, дифференциалды фазалық параметр (ДФП) негізінде далалық бақылаулар деректерін өңдеудің тиімділігі көрсетілген.

Түйін сөздер: электр барлау, индукциялық кедергі, электр кедергісі, поляризация, дифференциалды фазалық параметр (ДФП), геологиялық ортаның сулануы.

**ELECTRIC PROSPECTING FOR GEOLOGICAL AND ECOLOGICAL DIAGNOSTICS
OF REGIONS HAVING NUCLEAR FACILITIES**

V. N. Shaitorov*, A. K. Zholdybaev, M. V. Shulga, N. N. Kusherbaeva

Branch "Institute of Geophysical Research" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

**E-mail for contacts: shaitorov@kndc.kz*

The effectiveness of field observation data processing based on differential phase parameter using the results of spectral measurements of induced polarization using VPF-8k instrument to minimize the inductive noise effects on electric prospecting data using the method of dipole sounding is shown.

Keywords: *electric prospecting, inductive noise, electrical resistance, polarization, differential phase parameter (DPP), watering of geological environment.*