

Первые результаты наблюдения сейсмо-электрических эффектов и потенциалов вызванной поляризации на газоконденсатном месторождении в естественных шумовых полях Земли

■ Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С., Потылицын В.С., Шайдуров Р.Г. Кохонькова Е.А.,
Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск

Введение

Основной проблемой поиска и разведки углеводородов в Восточной Сибири является чрезвычайная неоднородность верхней части разреза, осложненной трапповыми включениями магматических пород, маломощностью продуктивных залежей (порядка 10 м.) с экранированием солевыми отложениями. В этих условиях традиционные методы сейсморазведки не дают однозначных результатов, велика вероятность пропуска. Из 10 дорогостоящих скважин лишь 1-2 подтверждаются выходом полезного продукта.

Использование комплекса геофизических методов, безусловно, улучшают качество распознавания залежей нефти и газа. По этой причине привлечение новых физических параметров, удешевление постановки работ являются сегодня чрезвычайно актуальным.

Из новых направлений идентификации продуктивных залежей является технология АНЧАР [1, 2], основанная на регистрации сейсмических сигналов в течение достаточно большого времени (минуты и более) после воздействия на разрез взрывом или ударом невзрывных источников. В [3] описана пассивная технология сейсморазведки, основанная на регистрации микросейсм. Классическим способом геокартирования по кажущемуся сопротивлению является магнитно-теллурический метод, заключающийся в наблюдении магнитных либо электрических компонентов теллурических токов в диапазоне инфранизких частот (0.01-1Гц.) [4].

Еще одним электроразведочным способом, применяемым в разведке углеводородов, является метод вызванной поляризации (ВП), реализуемый путем регистрации переходных характеристик электрических потенциалов при пропускании через разрез поляризующего тока от специальных источников [5, 6]. Метод традиционно используется при поиске полиметаллических руд. При этом, появление потенциалов ВП объясняется разрядом двойного электрического слоя на границах раздела электронной (руда) и ионной (окружающая горная порода, насыщенная водой) проводимостей.

Потенциалы ВП на границах залежей углеводородов, по-видимому, имеют другое происхождение, поскольку речь идет о границе раздела пористой породы насыщенной диэлектриком (углеводороды) в ионопроводящей среде. В этом случае на окружающую среду идет разряд электрической энергии, накопленный в диэлектрике. Новые возможности электроразведки при поиске углеводородов изложены в [6].

Первая публикация по сейсмо-электрическому методу, по – видимому, сделана А. Г. Ивановым в 1940 г. [7]. В последние годы появилось достаточно много работ по этому направлению, в частности, по использованию сейсмо-электрических явлений при поиске углеводородов [8, 9, 10].

В [10] опубликованы результаты лабораторных исследований по оценке фазового сдвига между электрическими и акустическими сигналами, в зависи-

В нормальном поле дисперсия разности $[E_x(t) - \tilde{k}E_y(t)]^2$ должна стремиться к нулю. Знаменатель (1) означает операцию нормировки этой разности по дисперсии опорного шумового сигнала.

Прибор одновременно вычисляет функцию взаимной корреляции (ВКФ) сигналов $E_x(t) \otimes E_y(t)$, несущую информацию о постоянной времени τ разряда потенциалов ВП.

$$R_{EE}(\tau) = \frac{\int_0^T E_x(t) \cdot E_x(t-\tau) dt}{\int_0^T E_x^2(t) dt}, \quad (2)$$

А также ВКФ $R_{SS}(\tau)$ – сейсмических шумов (рис. 2б).

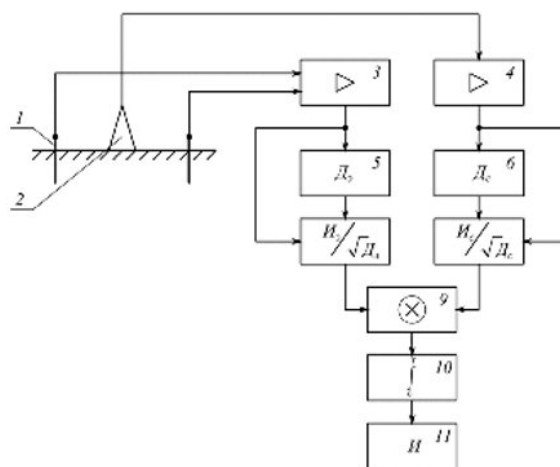
$$R_{SS}(\tau) = \frac{\int_0^T E_S(t) \cdot E_S(t-\tau) dt}{\int_0^T E_S^2(t) dt}, \quad (3)$$

Параметр сейсмо-электрического эффекта определяется через коэффициент взаимной корреляции электрического $E_e(t)$ и сейсмического $E_s(t)$ шумовых сигналов:

$$R_{ES}(\tau) = \frac{\int_0^T E_E(t) \cdot E_S(t-\tau) dt}{\int_0^T E_S^2(t) dt}, \quad (4)$$

В этом случае шумовые сигналы снимаются одновременно на одной точке наблюдения с приемной электрической линии $E_e(t)$ и с сейсмоприемника $E_s(t)$, рис. 2в.

На Рис. 3 приведена структурная схема прибора Шум-6, содержащего два предварительных усилителя одинаковых по частотно-фазовым характеристикам, аналого-цифровой преобразователь и микроконтроллер, реализующие цифровым способом выше приведенные алгоритмы.



▲ Рис. 3. Структурная схема прибора:
1 – датчик (диполь) электрического поля;
2 – сейсмоприемник; 3,4 – усилители;
5,6 – устройство вычисления дисперсий;
9 – перемножитель; 10 – интегратор;
11 – индикатор.

В августе 2014 г. опытные работы проводились на Ново-Михайловской площади Минусинского газоконденсатного месторождения, в 70 км к югу от г. Абакана (Респ. Хакасия). Газоконденсатная залежь находится на глубине 2200 м., общая площадь аномальной зоны $3 \times 3 \text{ км}^2$. В 1990-1999 гг. месторождение было хорошо изучено разведочными скважинами, сейморазведочным и электроразведочным методами. Наблюдение шумовых сигналов производилось в 4-х точках наблюдения I, II, III, IV по профилю 30° на Северо-Восток от села Ново-Михайловское (рис. 1), где точка I находилась в центре аномалии около скважины «Факел», в 90-х годах давшей сильный фонтан газа.

Точка II на расстоянии от центра аномалии 3 км, III – 6 км и IV – 12 км. Время отсчета всех параметров Т было одинаковым и составляло 60 сек. Длина электрических приемных линий $OM=ON$ составляла 100м. При наблюдении сейсмо-электрического эффекта в центре линии MN длиной 200м. устанавливался сей-

мости от влагонасыщенности, нефтегазоснабжения, пористости вмещающей среды.

В [11, 12, 13] описаны результаты использования активного сейсмоэлектрического метода в морских условиях с одновременной подсветкой искусственными сейсмическими и электрическими источниками, на основании которых был сделан вывод о четырехкратном увеличении эффективного распознавания углеводородных месторождений.

В [12, 13] нами описан алгоритм извлечения потенциалов ВП из естественного электромагнитного поля Земли путем регистрации совокупного фазового сдвига шумовых сигналов в диапазоне частот (1-20 Гц.) с использованием градиентной установки, при одновременном приеме на две смежных электрических линий.

Был разработан двухканальный прибор ВПЕМПЗ-М1 (Шум-6), результаты испытания которого на железорудном месторождении изложены в [15]. Ниже изложены данные апробирования этого прибора на углеводородной залежи на Ново-Михайловской площади Минусинского газового месторождения (рис. 1) в 2014 г. с использованием не только электрического шумового поля для метода ВП, но и в комбинации с сейсми-



▲ Рис. 1. Геологическая карта Ново-Михайловского газового месторождения. I, II, III, IV – точки наблюдения прибора ВПЕМПЗ-М1 (Шум-6)

ческими шумами. В августе 2015 г. этот эксперимент был успешно повторен на двух площадях того же месторождения (Быстринской и Ново-Михайловской).

В описываемом в статье приборе реализуются следующие алгоритмы и параметры выделения информации из шумовых сигналов.

Параметр ВП:

$$\eta = \frac{\int_0^T [E_x(t) - \tilde{k} \cdot E_y(t)]^2 dt}{\int_0^T E_x^2(t) dt}, \quad (1)$$

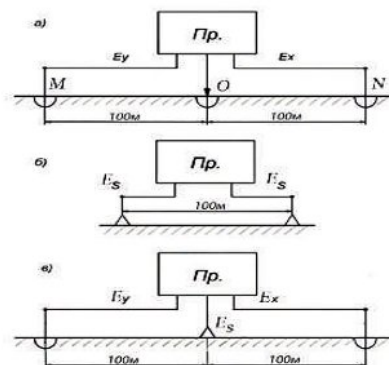
где: $E_x(t)$ и $E_y(t)$, соответственно, ЭДС шумовых сигналов, наблюдаемых на двух смежных сложных электрических заземленных линиях (Рис. 2а.);

$\tilde{k}$ – коэффициент амплитудного выравнивания сигнала, устанавливаемого микроконтроллером прибора автоматически,

$[0, T]$ – интервал наблюдения.

Как показано в [15] разряд потенциалов ВП соответствует пропусканию шумовых сигналов через фильтр нижних частот и появлению фазового сдвига по отношению к опорному сигналу, наблюдаемому в нормальном поле.

В случае малого фазового сдвига, разность амплитуд сигналов соответствует этому сдвигу и параметр ВП η определяет уровень разности потенциалов ВП.



▲ Рис. 2. Схема установки датчиков сигнала: а – для измерения параметра ВП η ; б – для регистрации ВКФ $RSS(\tau)$; в – для регистрации ВКФ $RES(\tau)$

сμοприемник. Для заземлений электрических линий использовались неполяризующиеся электроды.

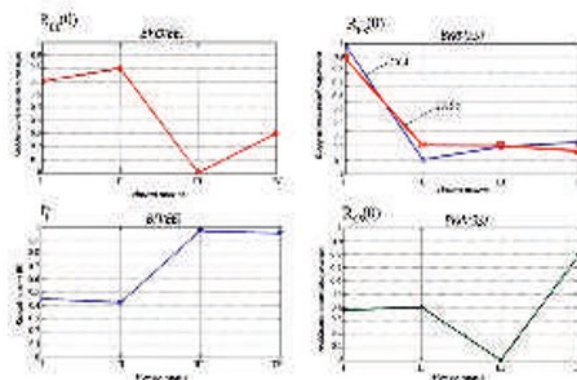
На рис. 4 сведены основные результаты наблюдений коэффициентов $RES(0)$, $REE(0)$, $RSS(0)$ и η по точкам (пикетам) I, II, III, IV. Разброс показаний отсчетов измеряемых величин в течение дня при нулевом временном сдвиге τ отсчетов ВКФ доходил, по отдельным пикетам, от 10 до 30%.

На рис. 4 точками отмечены среднеквадратичные значения. Средний уровень сигнала шумов на выходе датчиков находился в пределах $20 \div 100$ мкВ.

Судя по графикам (рис. 4), ВКФ ES (RES) спадает от точки I, расположенной в центре аномалии, вблизи скважины «Факел» от 0.99 до 0.2 – в точке IV на расстоянии 12 км от скважины. Это означает, что в аномальной зоне шумовые сейсмические сигналы совпадают по фазе с электрическими. По мере удаления в нормальную зону корреляция резко падает, по причине существенного запаздывания сейсмического сигнала относительно электрического. На расстоянии 12 км при средней скорости 4000 м/с это запаздывание может составить 3 сек, т.е. произойдет декорреляция рассматриваемых волн.

ВКФ EE (RES), т.е. между сигналами с двух смежных электрических диполей, с расстоянием от аномалии ведет себя похожим образом с RES. Максимум градиента поля мы наблюдаем в точке II на расстоянии 3 км от скважины, что может указывать на периферийный источник тока по отношению к центру аномалии, т.е. растекание токов ВП с концов пластовой залежи газа.

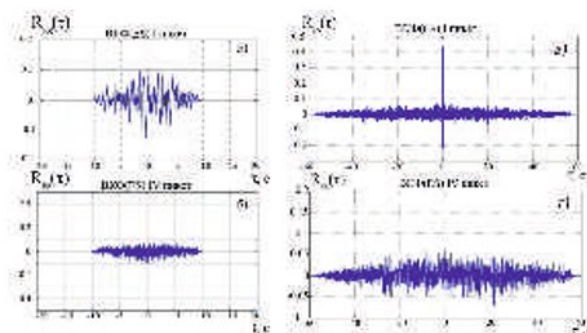
Этот процесс подтверждается наблюдением параметра ВП η , нарастающим к периферии аномалии, в том числе и в точке IV по профилю северо-восточного направле-



▲ Рис. 4. Профильные характеристики коэффициентов взаимной корреляции и ВП.

ния. ВКФ SS (RSS), получаемый из сигналов двух разнесенных сейсмоприемников растет плавно от центра аномалии и периферии. Это может указывать на регистрации одинаковых, но смещенных по времени сигналов. При разnose сейсмоприемников на 200 м. и скорости 4000 м/с, запаздывание по времени составит $t = 0,05$ с. В частности для частоты $f = 1$ Гц это соответствует запаздыванию по фазе $\varphi \approx 17^\circ$. В центре аномалии уменьшение коэффициента корреляции по-видимому связано с влиянием продуктивного пласта.

Если эффект ES (RES) вызван сейсмическим возмущением, то наблюдаемый коэффициент ВКФ SS в нормальной зоне не несет информации о сейсмо-электрическом процессе и лишь характеризует интенсивность возмущающей сейсмической волны, поступающей с периферии.



▲ Рис. 5. Вид наблюдаемых функций ВКФ $RES(\tau)$ на Ново-Михайловской площади: а – в аномальной (точка I); б – в нормальной зоне (точка IV), время усреднения 20 с; в – в аномальной (точка I); г – в нормальной зоне (точка IV), время усреднения 60 с.

На Рис. 5 изображены ВКФ $RES(\tau)$ соответственно в аномальной (точка I) и нормальной зоне (точка IV) как функция временного сдвига τ .

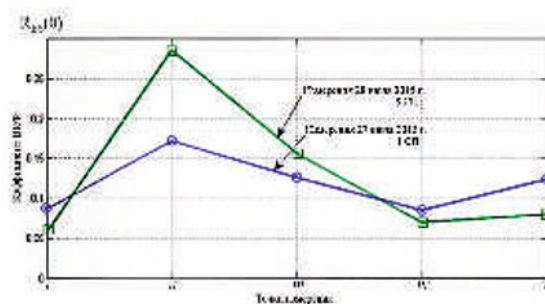
По уровню ВКФ $REE(\tau)$ (рис. 4) в центре аномалии (точка I) можно судить о том, что фазовых сдвигов нет и градиентная ЕЕ – установка по абсолютной величине $RES(0)$ отмечает лишь дисперсию шума. Об этом же свидетельствует минимальный коэффициент ВП η в точке I. Эффект ВП проявляется на периферии аномалиями в точках II, III, IV, что свидетельствует о растекании токов ВП через края аномалии, где проявляется градиент поля Е по направлению от точки I к точке IV.

ВКФ $RES(\tau)$ (Рис. 5а.), наоборот, над центром аномалии подчеркивает низкочастотные составляющие шумового сигнала, т.е. залежь газа действует как фильтр нижних частот. При этом, над центром аномалии, фазовый сдвиг электрического и сейсмического сигналов минимален и величина $RES(0)$ показывает совместную дисперсию шума. По мере удаления от аномалии временная форма $RES(\tau)$ приобретает обычную огибающую для полосового шума в диапазоне 1-20 Гц (рис. 5б).

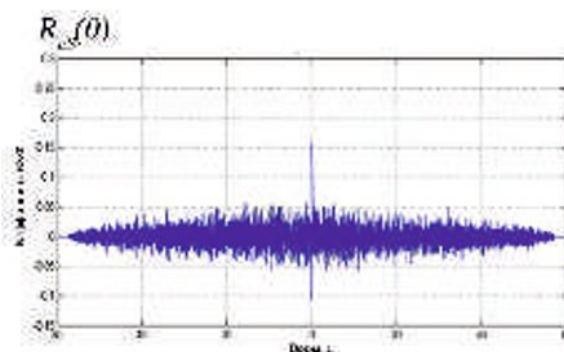


▲ Рис. 6. Геологическая карта Быстринской газовой площади.

На рис. 6 приведена геологическая карта Быстринской газовой площади с отметками точек наблюдения сейсмо-электрического эффекта (I, II, III, IV, V), расположенных между собой на расстоянии 3 км. Глубина залегания продуктивной залежи на этой площади 1800 м.



▲ Рис. 7. Профильные характеристики коэффициентов взаимной корреляции на Быстринской площади.

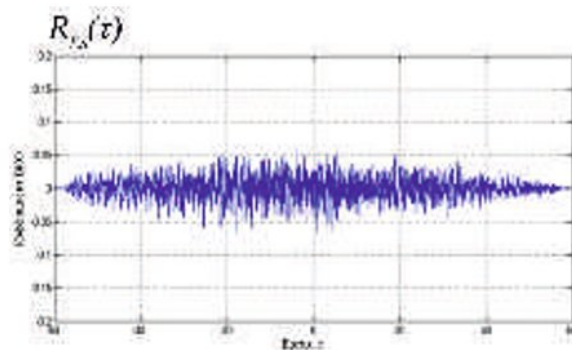


▲ Рис. 8. Взаимно-корреляционная функция в центре Быстринской газовой площади.

На рис. 7, 8 показаны результаты наблюдения на Быстринской площади (точка II – центр аномалии). Отношение сигнал/фон в точке II существенно возросло при использовании трех сейсмоприемников.

На рис. 9 приведена ВКФ в нормальной зоне (точки IV, V).

Предварительно можно сделать заключение, что параметры $REE(0)$; $REE(\tau)$; η ; $RES(0)$; $RES(\tau)$ несут новые, по сравнению с обычной сейсморазведкой, информационные атрибуты. Требуется не только расширить объем



▲ Рис. 9. ВКФ на периферии Быстринской газовой площади.

наблюдений на различных месторождениях нефти и газа, но и разработать соответствующие теоретические модели.

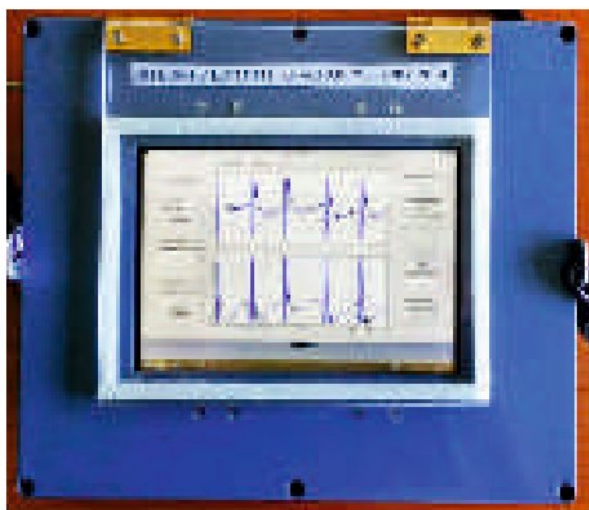
Гипотетическая модель физических явлений, обуславливающих наблюдаемые результаты, нам видится такой:

пластовая залежь углеводородов может быть представлена плоским конденсатором, наполненным мягкой пористой породой, включающей флюиды углеводородов с повышенной диэлектрической проницаемостью ϵ .

Окружающая горная порода представляет ионопроводящую среду с существенно более высокой проводимостью. Под действием постоянного электростатического поля Земли, напряженность которого на поверхности Земли составляет величину порядка $E_z \approx 120$ В/м, заряжается природный конденсатор, образуемый залежью углеводорода.

Внешнее возмущение электрическими флуктуациями теллурического поля, либо сейсмическими шумовыми волнами, приводит к процессу стекания зарядов с торцовых поверхностей залежи, электрическое поле которых наблюдается на поверхности Земли.

Важным преимуществом нового метода является его «пассивность», т.е. отпадает необходимость использовать специальные источники возбуждения электрического либо сейсмического полей.



▲ Рис.109. Внешний вид прибора ВПЕМПЗ 3-М1.

Ввиду несложности проведения работ с одним переносным прибором (рис. 10) массой до 3 кг, описанный метод может быть использован на стадии доразведки обнаруженных сейсморазведкой аномалий.

Просматривается вариант постановки работы сейсмо-электрическим методом путем развертывания вдоль профиля сейсмических кос и дополнительных датчиков сигналов электрического поля. В этом случае сеймостанция может производить обработку описанными в статье алгоритмами одновременно с проведением сейсморазведочных работ как пассивным, так и полуактивным методом с использованием сейсмических излучателей.

Заключение

1. На основе взаимно-корреляционной обработки шумовых сигналов естественного электромагнитного и сейсмического полей Земли на двух площадях Минусинского газоконденсатного месторождения: Быстринской (глубина 1800 м) и Ново-Михайловской (глубина 2200 м) было отмечено аномальный эффект, превышающий в 5-7 раз нормальный фон.

2. На Ново-михайловской площади это месторождение было отмечено также эффектом вызванной поляризации на основе фазовой и корреляционной обработки шумовых сигналов ЕЭМПЗ в диапазоне частот 1-20 Гц. На Быстринской площади метод ВПЕМПЗ из-за недостатка времени не применялся.

3. Гипотетически зарегистрированные эффекты можно объяснить одним и тем же явлением – накоплением электрического заряда в залежи за счет электрического поля земли и появлением токов разряда на окружающую горную породу под действием флуктуаций теллурического поля (вызванная поляризация) и шумовых возмущений сейсмическими полями естественного происхождения (землетрясение и пр.).

4. Разработан переносной двухканальный прибор ВП ЕЭМПЗ-М1, позволяющий работать обоими методами. При этом ВПЕМПЗ дал положительные результаты также при работе на рудном месторождении [15].

Литература

1. С. П. Артюнов, В. Ф. Давыдов, О. Л. Кузнецов и др. Явление генерации инфразвуковых волн нефтегазовой залежью. Научное открытие, 1999, - №109.
2. Г. В. Ведерников. Изучение микросейсм при сейсморазведочных работах МОГТ для прогнозирования залежей углеводородов. Тезисы доклада МПК, 24-26 ноября 2008г. СНИИ ГИМС, Новосибирск 2009, с. 48-53.
3. Г. В. Ведерников. Прогноз залежей углеводородов по характеристикам микросейсм. Избранные статьи, Изд. Свинин и сыновья, Новосибирск, 2012, 194 с.
4. М. И. Бердичевский. Электрическая разведка методом теллурических токов. Гос. н-т изд. нефтяной и горно – топливной литературы, М.:, 1960, 231с.
5. В. В. Кормильцев. Переходные процессы при вызванной поляризации. М.: Наука, 1980, 112с.
6. Г. М. Тригубович, М. И. Эпов. Новые возможности электромагнитной разведки. Тезисы доклада научно – практической конференции 24-26 ноября 2008г., СНИИ ГИМС, Новосибирск, 2009, с.16-19.
7. А. Г. Иванов. Сейсмоэлектрический эффект второго рода / Изв. АН СССР, серия географическая и геофизическая, 1940 г., № 5, с. 18-21.
8. О. А. Потапов, С. А. Лизун, В. Ф. Кондрат и др. Основы сейсмо - электроразведки, М.: Недра, 1995, 268 с.
9. О. А. Агеева, Б. С. Светов, Г. Х. Шерман. Сейсмо-электрический эффект второго рода в горных породах, Гология и Геофизика, 40, 8, с. 51-57.
10. О. А. Агеева. Использование сейсмо - электрических преобразований в породах для прогнозирования характера насыщения порового пространства, Геофизика, № 1, 2008, с. 16-21
11. Мельников В.П., Лисов В.И., Брюховецкий О.С., Бобровников Л.З. Инновационная геофизика: бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых - ч. 2 // Инженер-нефтяник. - М.: 000 «Ай Ди Эс Дриллинг», - 2011. - № 2. - с.
12. Мельников В.П., Лисов В.И., Брюховецкий О.С., Бобровников Л.З. Инновационная геофизика: бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых - ч. 1 // Инженер-нефтяник. - М.: 000 «Ай Ди Эс Дриллинг», - 2011. - № 1. - с. 47-51
13. Мельников В.П., Лисов В.И., Брюховецкий О.С., Бобровников Л.З. Инновационная геофизика: бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых - ч. 2 // Инженер-нефтяник. - М.: 000 «Ай Ди Эс Дриллинг», - 2011. - № 2. - с.
14. Г. Я. Шайдуров, Ю. Н. Козлов, Я. В. Маркушин. Дифференциальный метод извлечения информации о потенциалах ВП из естественного электромагнитного поля земли. Геофизическая аппаратура, Ленинград, Недра, 1991, с. 35-42.
15. Г. Я. Шайдуров. В. С. Потылицын. Некоторые результаты полевых испытаний метода вызванной поляризации на основе выделения информации из естественного электромагнитного поля земли. Приборы и системы разведочной геофизики. ИнформГеофизСервис, 2012, №4, с. 51-54.