

Интерпретация результатов наблюдений сейсмо-электрического эффекта над газовым месторождением без дополнительной "подсветки" электрическим полем

■ Шайдуров Г. Я., Баландин П. В., Потылицын В. С.,
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Представлены материалы экспериментальных наблюдений сейсмо-электрическим методом на Минусинском газоконденсатном месторождении с использованием невзрывного импульсного сейсмо-электрического источника «Енисей КЭМ-4» без дополнительной «подсветки» электрическим полем. Получены трехмерные изображения связи сейсмических и электрических сигналов. По этим данным построена структура отражающих слоев.

Ключевые слова: интерпретация, сейсмо-электрический, метод, месторождение, газоконденсатное.

Работы проводились в 2015-2017 гг. на Быстрянской площади Минусинского газоконденсатного месторождения (респ. Хакасия) хорошо разведанный различными геофизическими методами и бурением. Газовый пласт находится на глубине 1500-2000 м. На рис. 1 представлена геологическая карта площади, где пунктиром показаны изолинии положения продуктивного пласта, а стрелкой отмечен исследуемый профиль. На рис. 2 изображена схема эксперимента.

Невзрывной импульсный сейсмический излучатель «Енисей КЭМ-4» с силой удара 100 т устанавливается в начале профиля, а сейсмическая коса с 41 сейсмоприемниками располагалась вдоль профиля в северо-восточном направлении на расстоянии от источника 500 м. Сейсмоприемники устанавливались с разносом в 12.5 м и подключались через сейсмокосу к сеймостанции. В один из резервных каналов сеймокосы подключился электрический заземленный диполь длиной 200 м, на выходе которого был установлен фильтр нижних частот в диапазоне 0.1-20 Гц, позволяющий подавить промышленные помехи до уровня –80 дБ.

При обработке сигналов на сеймостанции использовался алгоритм вычис-



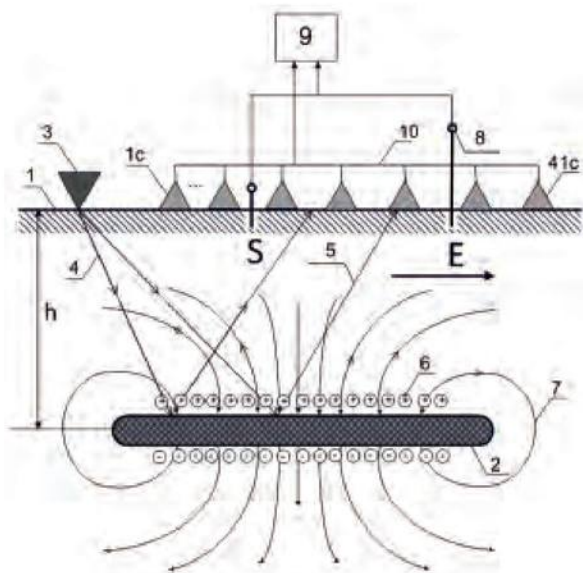
▲ Рис. 1. Геологическая карта Быстрянской площади Минусинского газоконденсатного месторождения.

ления коэффициента взаимной корреляции (КВК) сейсмического и электрического полей:

$$B(\tau_e, \tau_s) = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{E}(t - \tau_e) \bar{S}(t - \tau_s) dt \quad (1)$$

Где: $E(t)$ и $S(t)$ – соответственно нормированные по дисперсиям электрические и сейсмические сигналы; а τ_e и τ_s – сдвиги временных окон этих сигналов; T – период повторения.

Длительность сейсмоимпульса источника составляло $\tau = 5$ мс.



▲ Рис. 2. Схема эксперимента.

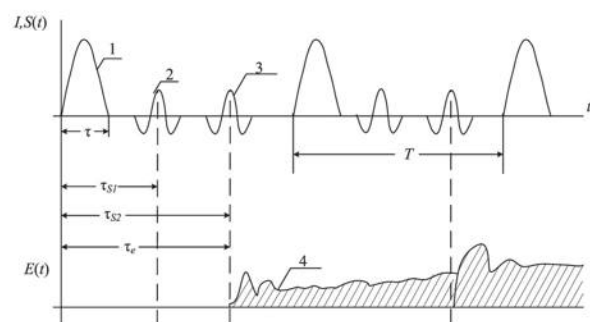
На рис. 3 показаны эпюры излучаемых и принимаемых сигналов, где: τ_e и τ_s соответственно сдвиги временного окна сейсмических и электрических сигналов; $\tau = 5$ мс длительность импульса сейсмического удара; $T = 10$ с – период повторения.

Поскольку вычисление КВК производилось для всех значений временных сдвигов τ_e и τ_s , то это позволяло при обработке получить трехмерную картину зависимостей КВК от времен прихода сейсмических и электрических сигналов вызванных сейсмическими ударами источника.

За начало отсчета параметра КВК принималось время вступления сейсмического сигнала отраженного от границы очередного слоя георазреза.

Путем перемещения по времени этого сигнала и сверткой с сигналами электрического диполя вычислялся КВК, который наносился на трехмерный график зависимости КВК от времен задержки τ_e и τ_s .

На рис. 4, для примера приведены трехмерные зависимости в четырех точках наблюдения. Точка 1 находилась в районе скважины 8-р, а 41 – в районе скважины 14-р.

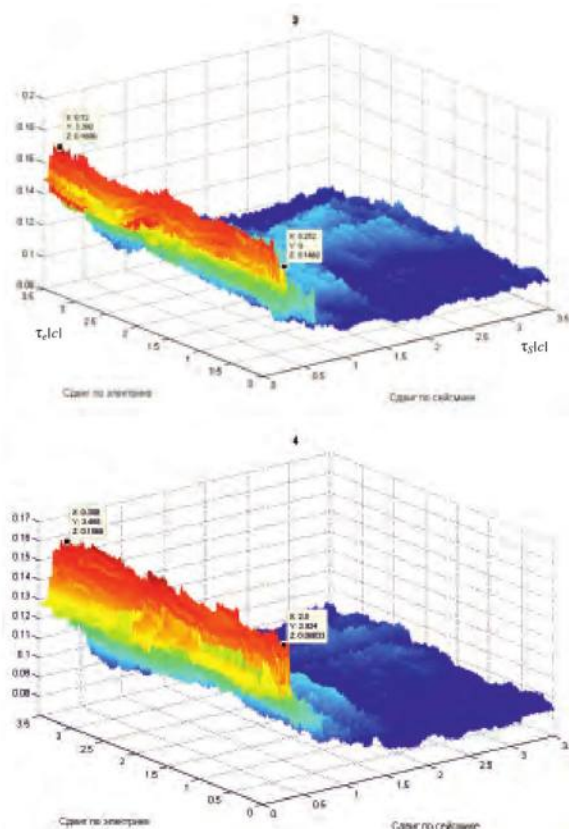


▲ Рис. 3. Эпюры наблюдаемых сигналов
1 – импульсы сейсмоисточника;
2 – сейсмический импульс у поверхности пласта;
3 – отраженный сигнал в районе сейсмоприемника;
4 – вторичное поле СЭ эффекта.

Все эти графики имеют гребенчатую структуру, по времени существования электрического поля.

Значительное время существования электрического сигнала после сейсмического удара можно объяснить, как

▼ Рис. 4. Трехмерная запись сигналов в нормальной зоне.



процессами перезарядки пористой диэлектрической среды, так и совокупным излучением электрического поля всей поверхностью пласта.

Поскольку длительность возбуждающего пласта сейсмического импульса τ_n много меньше по времени реакции на него электрического поля, то в интеграле (1) функцию $S(t)$ можно принять как короткий дельта импульс $S(\tau) = S_0 \delta(\tau)$.

В этом случае взаимно-корреляционную функцию электрического и сейсмического сигналов можно интерпретировать как импульсную переходную характеристику электрического поля сейсмо-электрического эффекта:

$$B(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T S_0 \delta(\tau) E(t - \tau) dt = S_0 E(\tau) \quad (2)$$

Постоянную времени электрического разряда определим через эквивалентную емкость C смещаемую сейсмическим ударом поверхность пласта и активное сопротивление R , через которое проходит ток разряда

$$\tau_p = RC, \quad (3)$$

Где, согласно [1],

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 L_1 L_2}{Z}; \quad Z = \frac{\tau_u P_2}{V_2 \rho_2} \quad (4)$$

$$R = \frac{E_0 \cdot Z}{I}; \quad I = \frac{E_0 Z \sigma_2 L_1 L_2}{h_2} \quad (5)$$

$$\tau_p = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \sigma_2}{h_2} \quad (6)$$

Здесь: ε , σ_2 – относительная диэлектрическая среда и электропроводность пласта

E_0 – стационарное электрическое поле Земли

I – ток разряда

L_1 , L_2 – продольный и поперечный размер пласта

h_2 – его мощность

Z – смещение верхней границы пласта под ударами сейсмоисточника

V_2 , ρ_2 – соответственно скорость распространения сейсмической волны и плотность углеводородной среды пласта

τ_u – длительность сейсмического удара

P_2 – давление сейсмического удара на пласт, при глубине его положения 1000 м.

Для примера, при следующих частных значениях параметров, приведенных в работе [1]:

$\varepsilon = 10$; $\sigma_2 = 10^{-5} \text{ см/м}$; $E_0 = 120 \text{ в/м}$; $L_1 = 3000 \text{ м}$; $L_2 = 1000 \text{ м}$; $h_2 = 10 \text{ м}$; $V_2 = 500 \text{ м/с}$; $\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$; $\tau_u = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; $P_2 = 1000 \text{ Н}$; $Z = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, получим $\tau_p \geq 10 \text{ с}$.

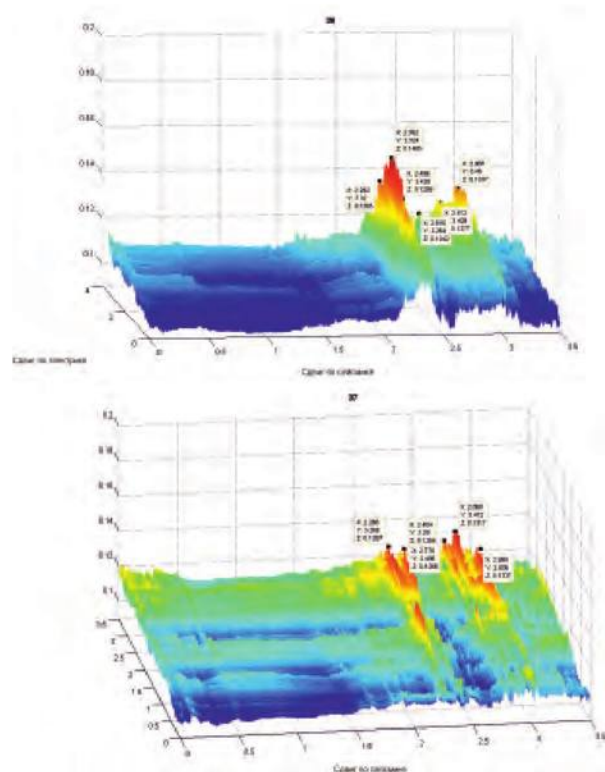
Поскольку постоянная времени разряда пласта превышает период повторения сейсмических ударов $T = 10 \text{ с}$, использованный в эксперименте, то, по мере повторения ударов, электрический сигнал СЭ эффекта должен нарастать, как это изображено на рис. 3.

Величина τ_p , наряду с напряженностью электрического поля СЭ эффекта, также является информационным параметром, позволяющим оценить величины ε , σ_2 , h .

На рис. 5 построен сейсмоэлектрический разрез исследуемого профиля, где граница отражающих слоев определяются временем запаздывания сейсмического сигнала τ_s . Это похоже на результаты построения СЭ разреза полученные на море другими авторами [3, 4].

Судя по графикам рис. 6 продуктивный пласт имеет угловой наклон к горизонту и содержит несколько отражающих границ, из которых нижняя соответствует запаздыванию сейсмической волны по времени $\tau_s = 2.5 \text{ с}$, что при глубине слоя 1600 м соответствует скорости продольной волны 1300 м.

Столь малую скорость можно объяснить низкой плотностью окружающих горных пород, состоящих из песчаника и



▲ Рис. 5. Запись сигналов в аномальной зоне.

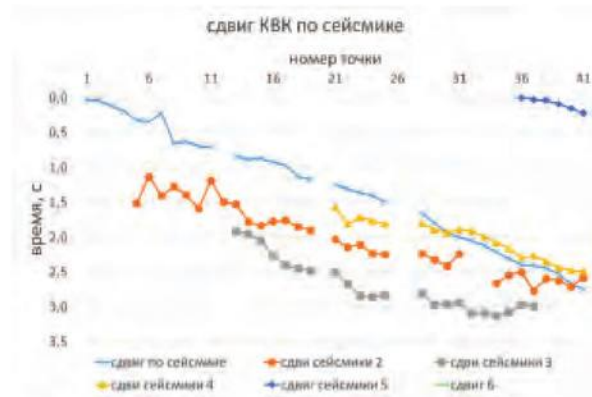
известняка, а также за счет содержания газа в ее порах. Появление электрического поля на малых глубинах в нормальной зоне рис. 3, 4, по-видимому связано с более высокой влажностью поверхностного слоя Земли.

Расчеты показали, что лишь при токе в кабеле 10 А эти заряды сопоставимы.

В патенте США [3] и работах отечественных геофизиков СЭ методом на море [4] применялось дополнительное облучение георазреза электрическим полем большой мощности («бинарная технология»), что как указывают авторы, существенно увеличивает потенциал СЭ эффекта.

При этом, эти же авторы обращают внимание, что постановка подобных работ на суше существенно осложнена необходимостью использования тяжелой транспортной техники для перевозки кабеля, заземлений, мощных источников электропитания.

Описанный выше эксперимент на Минусинском газоконденсатном место-



▲ Рис. 6. Изображение поверхности отражающих слоев.

рождении показал, что на основе взаимно корреляционной обработки сейсмических и электрических сигналов работа СЭ методом на суше, вполне возможна работа без использования бинарной технологии.

Интегральный характер распределения вторичного электрического поля СЭ-эффекта по поверхности Земли, как поля эквивалентного электрического диполя, позволил в описанном выше эксперименте использовать для приема один электрический диполь на профиле длиной 200 м. это показывает на возможность существенного упрощения проведения работ СЭ методом на суше, поскольку не требует раскладки по профилю большого числа приемных электрических датчиков.

Заключение

– Экспериментальные наблюдения показали возможность использования СЭ метода на суше без дополнительной подсветки электрическим полем, то есть без применения бинарной технологии.

– Совместная обработка наблюдаемых сейсмических и электрических сигналов методом взаимной корреляции позволяет повысить чувствительность и помехоустойчивость наблюдений, а также получить дополнительную информацию по структуре сейсмо-электрического разреза.

– Постановка «полуактивного» СЭ метода в отличие от бинарной технологии не требует никаких новых аппаратных решений по сравнению с обычной сейсморазведкой, кроме включения в схему измерений заземленных электрических диполей. По опыту работы, это примерно три диполя на 1 км сейсмической косы).

– Для внедрения в практику этого метода безусловно необходим большой объем экспериментальных работ на различных нефтяных и газовых месторождениях.

Работа поддержана грантом РФФИ 20-07-00267.

Литература

1. Шайдуров Г.Я. Методика системного анализа сигналов сейсмо-электрического эффекта при поиске углеводородов. Приборы и методы разведочной геофизики. Саратов. ЕАГО. 2021. № 4Б. С. 33-37.

2. Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С., Потылицын В.С., Романова Г.Н. О наблюдении сейсмо-электрического эффекта на газоконденсатном месторождении в естественных электромагнитных и сейсмических полях Земли в диапазоне частот 0.1-20 Гц. Геология и геофизика, 2018. Т. 59. № 5. С. 703-708.

3. Berg A. Method of Seismo-Electromagnetic Detecting of Hydrocarbon deposit. Us Patent № 7730790. October. 2005.

4. 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.: ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2011, № 1, с. 47—51.

Подробнее об авторах



Шайдуров
Георгий Яковлевич

д.т.н., профессор
Сибирского федерального
университета
(СФУ), г. Красноярск



Баландин
Павел Васильевич

старший геофизик,
ПАО «Геотек-
-Сейсморазведка»,
г. Тюмень



Потылицын
Вадим Сергеевич

старший научный
сотрудник,
НИЛ «Электроакустика»
СФУ, г. Красноярск

Примечание. В статье [1], по вине автора, в формулах (3), (5) пропущен множитель τ , а в (7), (8), (12) множитель (h_2^{-1}) , что позволяет скорректировать расчетные оценки $E_{xp}=0.46$ мкВ/м, $Q_3=0.96 \cdot 10^{-8}$ кул, но не изменяет выводов по работе.