

## Опыт высокоразрешающей электроразведки

© А. Г. Небрат<sup>1</sup>, В. В. Сочельников<sup>2</sup>, 2011

<sup>1</sup>Государственное инновационное предприятие "Солитон",  
Геленджик, Россия

<sup>2</sup>Южное отделение Института океанологии РАН,  
Геленджик, Россия

Поступила 5 ноября 2009 г.

*Представлено членом регколлегии С. Н. Куликом*

Висока роздільна здатність електророзвідки ґрунтується на ефектах індукційної викликаної поляризації (ІВП) і вторинної сейсмoeлектричної (ВСЕЕФ), що відкриті авторами в процесі досліджень за грантами РФФІ. Геоелектричні розрізи за даними реєстрації ВСЕЕФ зіставні із сейсмічними, а результати реєстрації ІВП дають змогу оцінювати нафтогазоносність з прив'язкою за глибиною.

The effects: double induction polarization (DIP) and second seismoelectrical one (SSEEF) underlie the high resolving geoelectrics. These effects are discovered by authors in investigations on RFFI grants. Geoelectrical sections on SSEEF data are commensurable with seismic ones and results of DIP registrations permit to value oil-and-gas content associating with deep locating.

В 1967—1969 гг. В. А. Сидоровым и В. В. Тикшаевым был предложен метод становления поля в ближней зоне (ЗСБ) [Сидоров, Тикшаев, 1969]. Уже первые исследования показали, что запись становления электромагнитного поля осложняется осцилляциями, которых по применяемым в то время моделям среды и теории не должно было быть. Также в 1980-е годы А. Э. Вишняковым и М. Ю. Яневичем по данным морских электроразведочных работ были отмечены осцилляции на кривой становления электромагнитного поля, которые они связали с индукционно-вызванной поляризацией [Вишняков, 1983; Губатенко, 1991; Яневич, 1985].

С развитием техники измерений и компьютерной обработки удалось резко поднять точность полевых измерений данных электроразведки методом ЗСБ, что привело к систематическому выделению и изучению ранее не наблюдаемых эффектов, не объяснимых в рамках традиционных теорий. На рис. 1 приведен пример выделения на кривой становления электрического поля относительно высокочастотных осцилляций. В эксперименте задействовано около 1 млн импульсов в условиях до-

статочно глубокого моря (более 50 м), спокойной погоды и мощного излучателя (ток около 200 А). Как видно, отмечается уменьшение интенсивности осцилляций со временем, что говорит о его неслучайном характере. Интересно отметить, что спад становления поля происходит быстрее уменьшения уровня осцилляций.

Результаты эксперимента, а также геоэлектрические разрезы, отличающиеся высоким разрешением и хорошо совпадающие с данными сейсморазведки, подтолкнули к созданию новых теоретических построений, позволяющих дать строгое математическое описание отмеченных на практике эффектов. Это потребовало рассмотрения геологической среды как более сложной системы, с учетом ее действительной многофазности — твердого скелета и жидкого водного наполнения.

В основе высокоразрешающей электроразведки лежат эффекты индукционно-вызванной поляризации (ИВП) и вторичный сейсмoeлектрический (ВСЭЭФ), открытые авторами в процессе исследований по грантам РФФИ [Сочельников, Небрат, 1994; 1997; Сочельников,

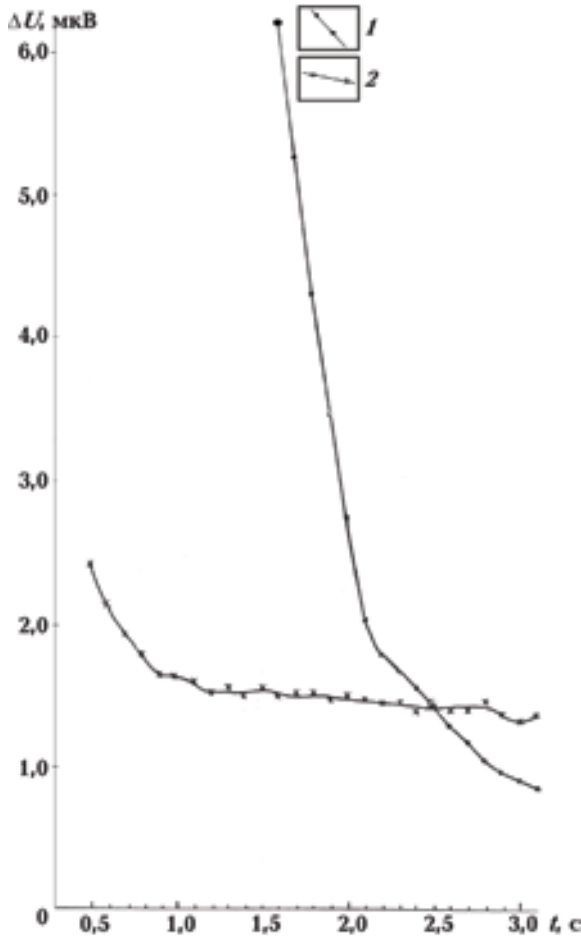


Рис. 1. Сравнение амплитуды сигналов ЗСБ и осцилляций: 1 — кривая спада ЗСБ (установка А400В400М100Н); 2 — кривая огibaющей амплитуд осцилляций на спаде ЗСБ.

2006]. Теоретический анализ влияния токов смещения, в частности эффекта Максвелла — Вагнера, влияния ВП и сейсмoeлектрических эффектов показал, что наиболее вероятными для объяснения осцилляций на переходных характеристиках следует считать индукционную вызванную поляризацию ИВП и вторичный сейсмoeлектрический эффект ВСЭЭФ.

Обширные экспериментальные материалы свидетельствуют о том, что процесс становления сопровождается, по крайней мере, двумя видами осцилляций: относительно низкочастотный тип (0,2—2 Гц), растекающийся во времени, и более высокочастотный тип (2—120 Гц) с практическим сохранением частоты за все время регистрации. С точки зрения проведенных теоретических исследований низкочастотные осцилляции обусловлены эффектом ИВП, а высокочастотные — вторичным сейсмoeлектрическим эффектом ВСЭЭФ.

По результатам проведенных исследований запатентован метод ЗСБ-ИВП-ВСЭЭФ, составляющий в сочетании с классическим методом ВП основу высокоразрешающей электроразведки [Пат. РФ № 93041480/25 ..., 1995].

Физическая сущность эффекта ИВП заключается в следующем. В результате процесса установления электрическое поле в проводящей среде после включения или выключения источника изменяется не резко, а плавно. Чем больше глубина залегания слоя, тем позже наступают изменения. Возникает дополнительный источник вызванной поляризации, что приводит к ее изменению, которое вначале растет по абсолютной величине, а затем по мере затухания дополнительного источника убывает. Так возникает индукционная вызванная поляризация. Причем, чем больше глубина залегания поляризующегося слоя, тем на более поздних временах будет проявляться этот слой в поле ИВП.

Математически характеристика ИВП представляется интегралами свертки характеристики становления поля над неполяризующейся средой и зависимости во времени удельного сопротивления слоев от вызванной поляризации.

Вторичный сейсмoeлектрический эффект обусловлен преобразованием известного обратного сейсмoeлектрического эффекта, возникающего за счет изменения электрического поля во времени, в известный прямой сейсмoeлектрический эффект, особенно сильный на границах так называемых формационных объектов, т. е. на границах перерывов осадконакопления. Плотность избыточных электрических зарядов для установки АМНВ описывается выражением [Сочельников, Небрат, 1997]

$$\delta = \frac{I\rho\alpha\sigma T^2}{\pi^3 r_0^2 \delta_n} \left\{ \begin{array}{l} K_{зэм} \frac{2H^2 - r_1^2}{R^5} \\ K_{гэм} \frac{3r_1 H}{R^5} \end{array} \right.$$

Здесь  $I$  — сила питающего тока,  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление вмещающей среды,  $\alpha$  и  $\delta_n$  — коэффициент пористости и плотность возбуждаемого пограничного пласта,  $\sigma$  — поверхностная плотность первичных зарядов двойного слоя в его порах,  $r_0$  — ра-

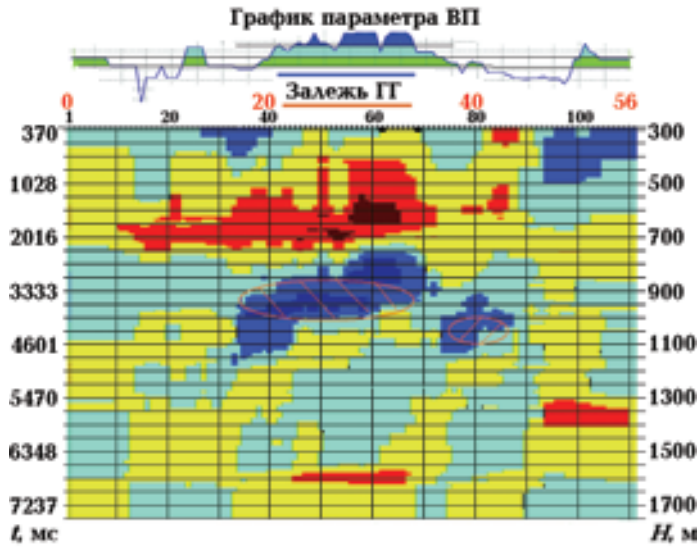


Рис. 2. Выделение залежи газогидратов с помощью методики ЗСБ-ИВП. Черное море.

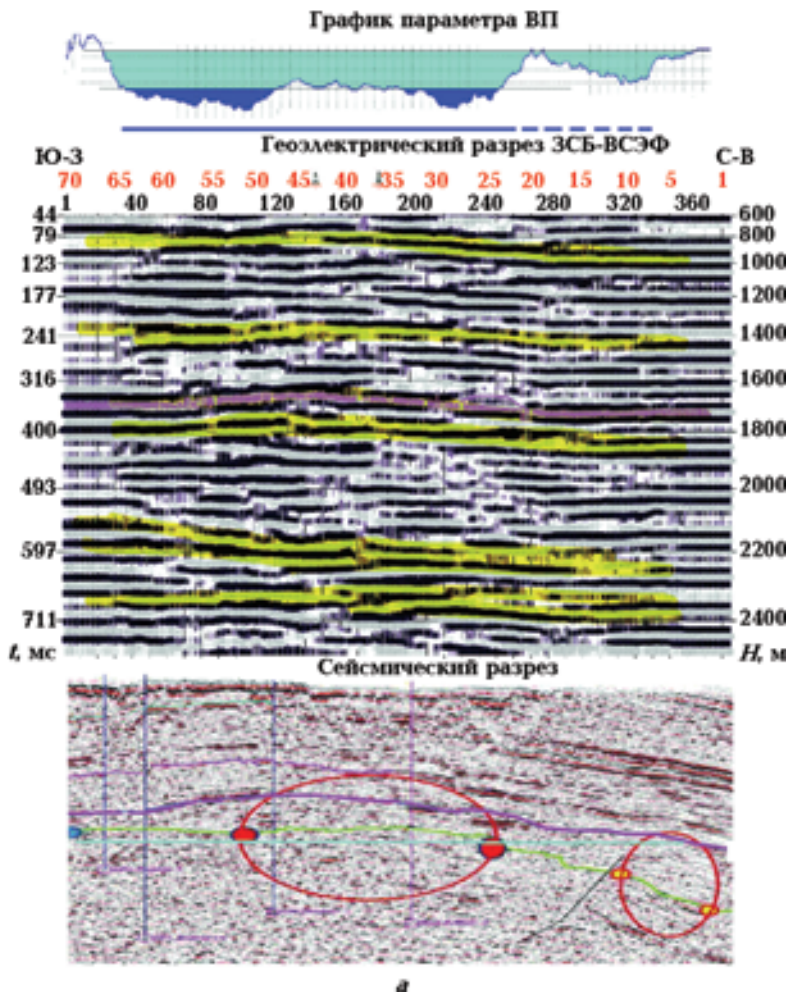


Рис. 3. Сопоставление данных геозлектрического и сейсмического разрезов: а — газовое месторождение, Сирия; б — Китай, провинция Сычуань; в — республика Марий-Эл; г — Тихий океан; д — Восточная Сибирь.

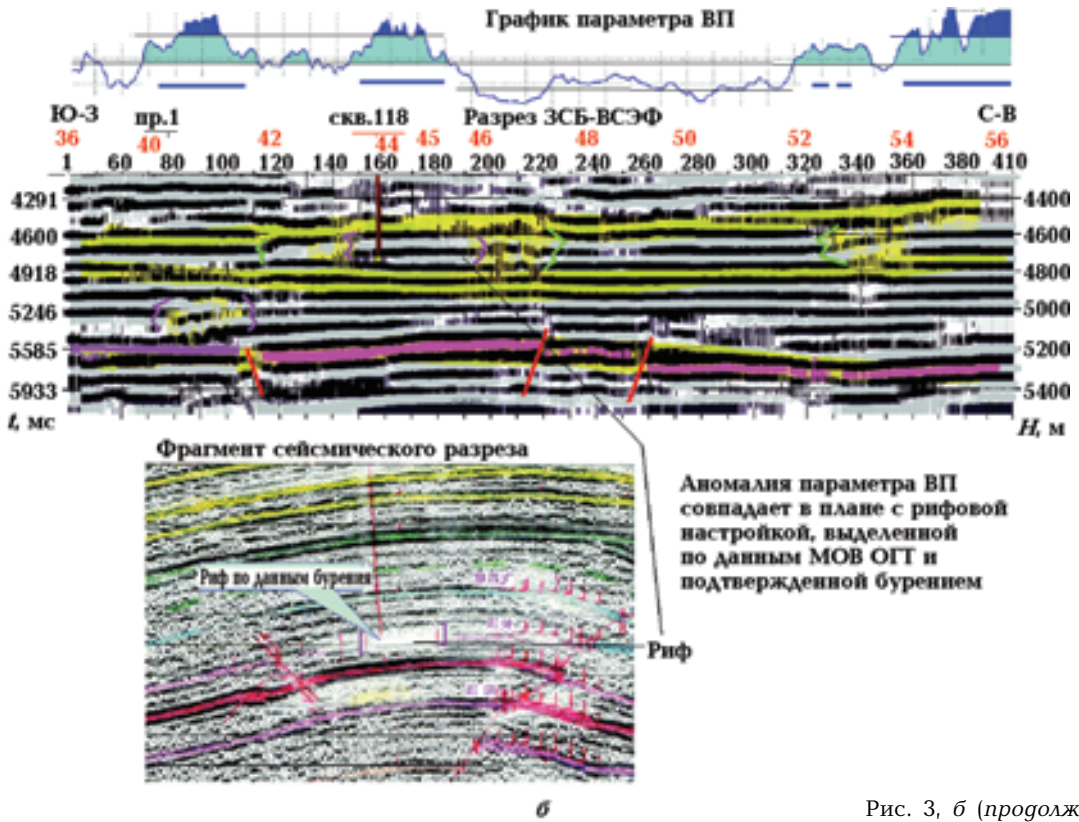


Рис. 3, б (продолжение).

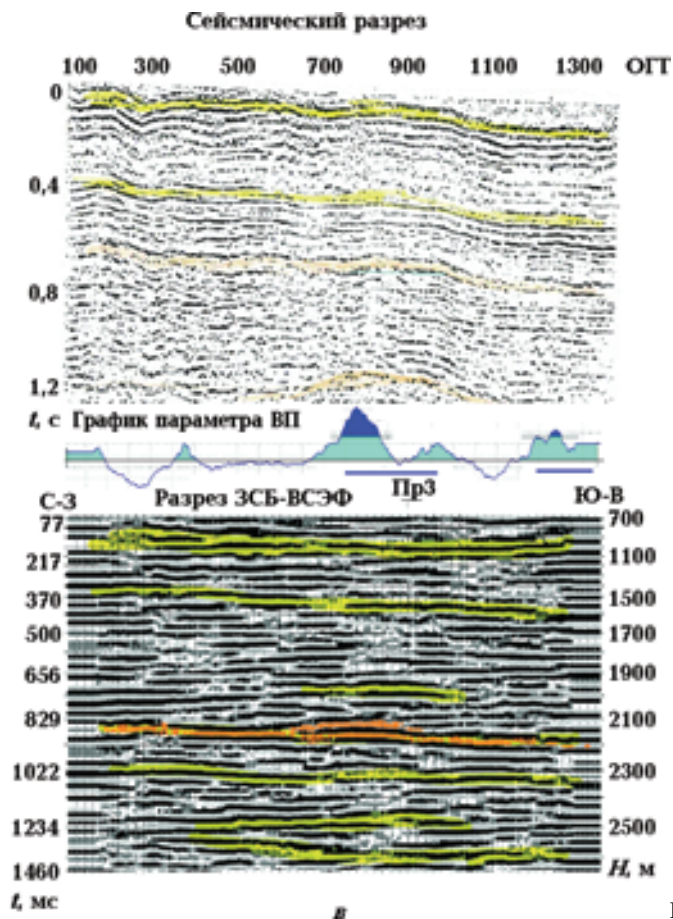


Рис. 3, в (продолжение).

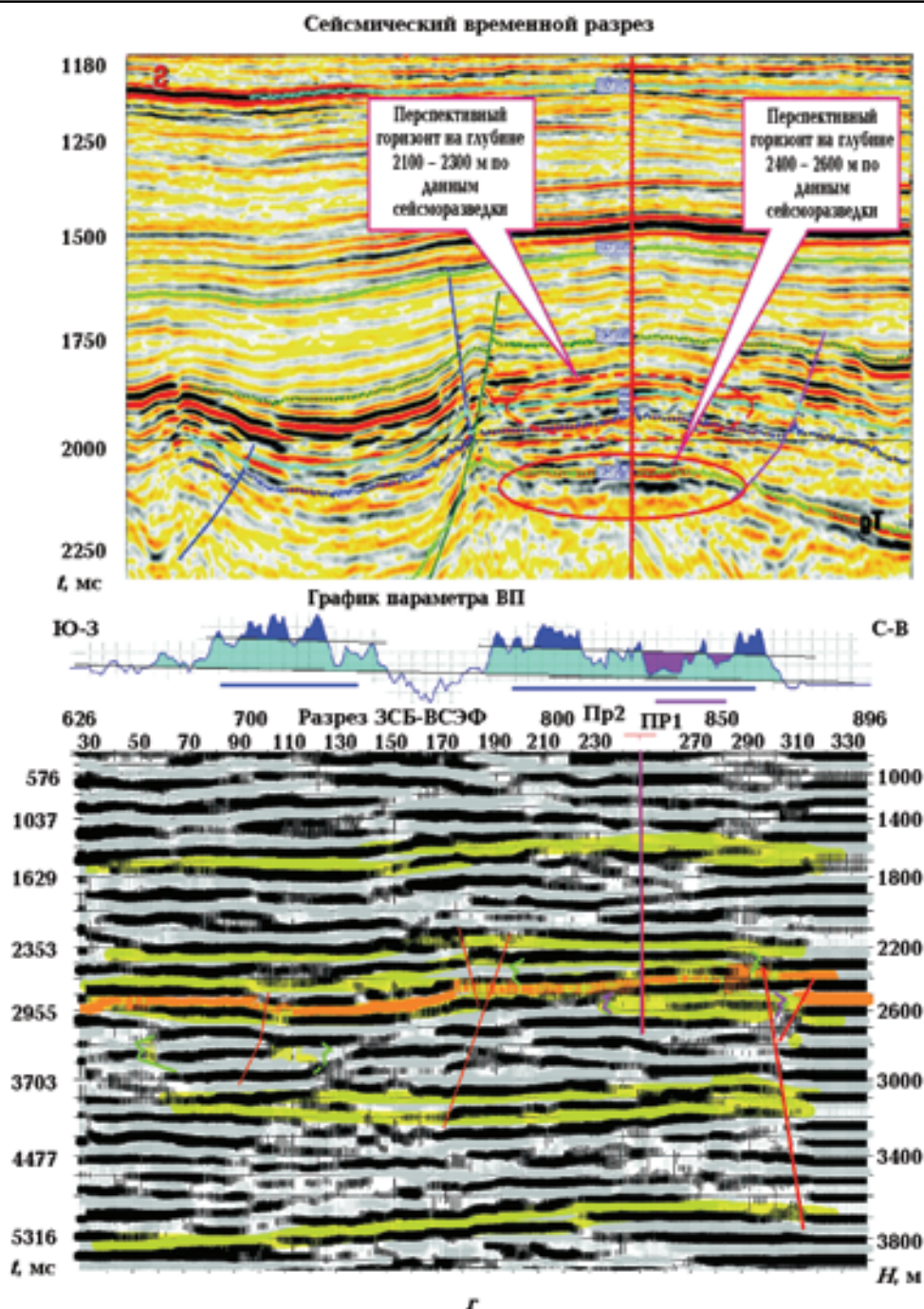


Рис. 3, г (продолжение).

диус пор,  $H$  — глубина залегания пласта,  $R$  — расстояние от электрода А до текущей точки в пласте,  $r$  — расстояние до той же точки по горизонтали от вертикали электрода А,  $T$  — период осцилляций,  $K_{z\text{ЭМ}}$ ,  $K_{r\text{ЭМ}}$  — коэффициенты электромеханической связи по вертикали и горизонтали.

Оценки величины напряженности электрического поля, создаваемого этими зарядами,

находятся в хорошем соответствии с практическими результатами измерений.

Эффект ИВП в "чистом" виде удалось наблюдать при исследованиях газогидратов (ГГ), установленных по данным сейсмоакустики и грунтоотбора. Залежь ГГ находится на глубине 1000—1500 м практически у дна моря, т. е. сверху располагается только водная толща не содержащая, по-видимому, скоплений пирита.

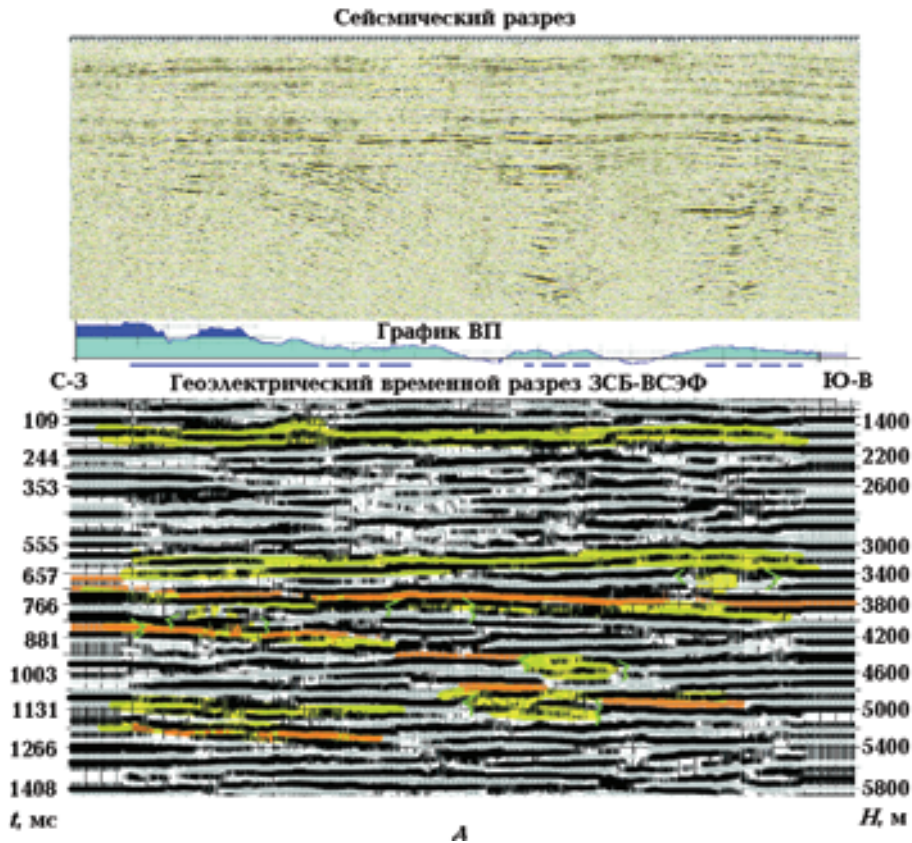


Рис. 3, д (окончание).

Проведенные исследования с дипольно-симметричной установкой однозначно показали проявления газогидратов в эффектах ИВП (рис. 2). На основании этих данных можно сделать два важных вывода:

- 1) эффект индукционно-вызванной поляризации существует;
- 2) этот эффект может быть вызван поляризацией собственно залежи УВ.

С помощью второго вида осцилляций удастся получать временные геoeлектрические разрезы (ВГЭР), обладающие целым рядом привлекательных свойств для применения в геофизике: малой скоростью распространения 300—500 м/с, отсутствием кратных волн, весьма небольшим декрементом затухания. Теоретически показано, что амплитуда сигнала пропорциональна пористости, также есть зависимость сигнала от проницаемости.

Оценка разрешающей способности временных геoeлектрических разрезов приведена в сравнении с сейсмическими временными разрезами МОВ—ОГТ, отработанных в различ-

ных геолого-геофизических условиях в разных регионах мира (рис. 3). Как видно из приведенных материалов, отмечается весьма неплохое совпадение сейсмического и геoeлектрического разрезов.

Особый интерес вызывают данные, полученные в Восточной Сибири (рис. 3, д). Здесь геологическое строение сопровождается существенными угловыми несогласиями подстилающих пород, начиная с глубины 3,0—3,5 км. Сравнение с сейсмическими данными и добротная корреляция геoeлектрических разрезов, выполненных параллельно с расстоянием между профилями 4 км на протяжении 50 км, говорит о высоких возможностях технологии.

Представленные полевые материалы показывают: по данным ВСЭЭФ получают уверенные геoeлектрические разрезы, сопоставимые с сейсмическими, анализ материалов ВП дает возможность судить о перспективах нефтегазоносности, а результаты ИВП позволяют оценивать глубину залегания перспективных объектов.

**Список литературы**

- Вишняков А.Э.* Методика, технология и аппаратура морских электроразведочных работ при прямых поисках нефти и газа // Аппаратура для исследования геомагнитного поля. — 1983. — № 11. — С. 110—117.
- Пат. РФ № 93041480/25.* Способ геоэлектроразведки / А.Г. Небрат, В.В. Сочельников. — Оpubл. 27.10.97, Бюл. № 30.
- Сигоров В.А., Тикшаев В.В.* Электроразведка зондированием становления поля в ближней зоне. — Саратов: Изд. НВНИИГГ, 1969. — 51 с.
- Сочельников В.В., Небрат А.Г.* Теория и практические возможности метода ЗСБ-ИВП при поисках нефти и газа // Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1994. — № 6. — С. 56—67.
- Сочельников В.В., Небрат А.Г.* Теоретические оценки сейсмoeлектрического эффекта и его влияния на переходные характеристики становления поля // Геофизика. — 1997. — № 2. — С. 28—38.
- Сочельников В.В.* Высокоразрешающая электроразведка. — Новороссийск: Изд. МГА им. Ф.Ф. Ушакова, 2006. — 40 с.
- Яневич М.Ю.* Индуктивное возбуждение вызванной поляризации горных пород применительно к задаче прямых поисков месторождений нефти и газа // Изв. высш. учебн. заведений. — 1985. — № 2. — С. 11—16.