УДК 550.837.81

А.В.ГРАЙВЕР, *аспирант, alex@geliosmi.com*
А.Ю.ДАВЫДЕНКО, *д-р физ.-мат. наук, профессор, day@geliosmi.com*
Иркутский государственный технический университет
Ю.А.ДАВЫДЕНКО, *канд. техн. наук, ведущий геофизик, yadavidenko@mail15.com*
С.А.ИВАНОВ, *канд. геол.-минерал. наук, главный геолог, simail2008@mail.ru*
Сибирская геофизическая научно-производственная компания, Иркутск

A.V.GRAYVER, *post-graduate student, alex@geliosmi.com*
A.Y.DAVYDENKO, *Dr. in phys.& math. sc., professor, day@geliosmi.com*
Irkutsk State Technical University
Y.A.DAVYDENKO, *PhD in eng. sc., principal geophysicist, yadavidenko@mail15.com*
S.A.IVANOV, *PhD in geol. & min. sc., chef geologist, simail2008@mail.ru*
Siberian Geophysical Research-and-Development Company LLC, Irkutsk

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-НОРМИРОВАННЫМ МЕТОДОМ НА ШЕЛЬФЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

В настоящее время на шельфе активно проводятся поиски месторождений нефти и газа. В результате ареальных изменений над залежью углеводородов повышается концентрация пирита, что приводит к росту вызванной поляризации. Эти аномалии выделяются дифференциально-нормированным методом электроразведки. Съемка производится во время движения судна; при одном выключении тока одновременно регистрируется шесть переходных процессов. Эти данные в высокой степени коррелированны. Переход в пространство ортогональных признаков и применение робастного регрессионного анализа позволяют выделить отклик от геологических неоднородностей на фоне сигнала от меняющейся по мощности толщи морской воды. Данная работа посвящена результатам развития методики обнаружения аномалеобразующих объектов, а основным инструментом их выделения является инверсия электомагнитных зондирований.

***Ключевые слова*:** морская электроразведка, дифференциально-нормированный метод электроразведки, метод главных компонент, многомерная регрессия.

MULTIDIMENTIONAL ANALYSIS AND DATA VISUALISATION OF DIFFERENTIALLY NORMALIZED ELECTRICAL METHOD ON THE BARENTS SEA SHELF

Intensive offshore exploration is being conducted at the present time. Due to areal alterations over the hydrocarbon deposits high pyrite concentration is accumulated. This effect results in induced polarization anomalies which can be discovered with differentially normalized electrical method. The survey is being carried out in the process of a vessel movement by six channels. dU(t) fields are obtained per one current pulse. These data are highly-correlated. Transformation of these data into orthogonal high dimension space as well as robust multivariate regression procedure application allow to distinguish the geological heterogeneities response. This investigation is developing the anomalies recognition technique.

***Key words*:** marine electroinvestigation, differentially normalized electrical method, principal component analysis, multivariate regression.

В настоящее время растет интерес к поискам углеводородов в пределах континентальных шельфов. При проведении поисковых работ на шельфах Каспийского и Баренцева морей и в других акваториях хорошо зарекомендовал себя комплекс сейс-

моразведки и импульсной электроразведки – дифференциально-нормированного метода электроразведки (ДНМЭ) [1, 2, 5]. Инверсия данных электромагнитных зондирований позволяет дополнить прогнозные параметры сейсморазведки геоэлектрическими параметрами, в т.ч. поляризуемостью – параметром, который связан с наличием углеводородов.

Зондирования в ДНМЭ регистрируются в процессе движения с помощью питающей и приемной линий, соединенных последовательно и транспортируемых за судном [4]. Разрез возбуждается прямоугольными разнополярными импульсами тока продолжительностью 4 с с 4-секундной паузой. На некотором удалении от источника тока тремя трехточечными установками *MON* фиксируются разности потенциалов ΔU_{MN} и конечная разность второго порядка $\Delta^2 U_{MON}$. Измерения проводятся с использованием 24-разрядных АЦП; они начинаются в последней четверти токового импульса и продолжаются в течение паузы. После серии накоплений формируется массив исходных данных, в котором каждый переходный процесс имеет следующие характеристики: координаты (по данным GPS-приемников), амплитуду токового импульса и данные по глубине с эхолота.

При проведении первичной обработки основной задачей является выделение полезного сигнала на фоне помех. Спецификой данных электромагнитных зондирований является высокая степень «загрязнения» суммарного сигнала контрастными атмосферными разрядами и промышленными, в том числе судовыми, шумами. Поэтому при обработке данных широко применяются методы робастной статистики: устойчивые значения получаются за счет использования функции влияния Хампеля при нахождении в итерационном алгоритме μ-оценки [6]. Эта процедура применяется для сглаживания в двумерном скользящем окне, а также при взятии отсчетов на временных задержках. В итоге для каждого из шести каналов формируется файл, содержащий координаты зондирований, глубину и переходные процессы, которые представлены 36 временными задержками и уровнем поля в момент пропускания тока [3]. Данные по профилям представлены в виде временных разрезов первых и вторых пространственных разностей потенциалов, охарактеризованных шестью параметрами, ΔU_{I}, $\Delta^2 U_{\text{I}}$, ΔU_{II}, $\Delta^2 U_{\text{II}}$, ΔU_{III}, $\Delta^2 U_{\text{III}}$ (I, II и III – индексы трехточечной установки), которые в дальнейшем обозначены как U_1-U_6.

Высокая плотность зондирований, составляющая обычно 50-70 на километр профиля, позволяет предварить инверсию данных электромагнитных зондирований подавлением случайных помех в пространственно-временной области с помощью двумерных фильтров. Большой динамический диапазон разностей потенциала определяет целесообразность предварительного логарифмического преобразования полей: $(U_1\text{-}U_6) \rightarrow (L_1\text{-}L_6)$.

Применение методов многомерного анализа рассматривается на примере данных, полученных в результате работ ДНМЭ на Северо-Гуляевском месторождении шельфа Баренцева моря. Нефтегазовое месторождение, открытое скважиной 1-SG на глубине 2,1-3 км, включает пять залежей с мощностью продуктивных пластов 10-30 м. Оно приурочено к брахиантиклинальной ловушке размерами 10 × 25 км и амплитудой 150-200 м. Резервуары представлены песчаниками и кавернозными известняками. Юго-западное крыло складки осложнено разрывным нарушением.

Для сопоставления полученных результатов использовались данные сейсморазведки (предполагаемый контур залежи углеводородов, зоны трассировки тектонических нарушений) и результаты инверсии данных в классе параметризованных моделей (контур аномалии вызванной поляризации), выделяющейся в геоэлектрическом слое, расположенном в верхней части разреза на глубине 300-500 м) [7]. Аномалия ВП выделяется по высоким значениям коэффициента поляризуемости и сопровождается повышением сопротивления в нижнем геоэлектрическом слое, в котором расположены залежи. Северо-восточная часть аномалии хорошо совпадает с контуром залежи, юго-западная и восточная выходят за контур (рис.1).

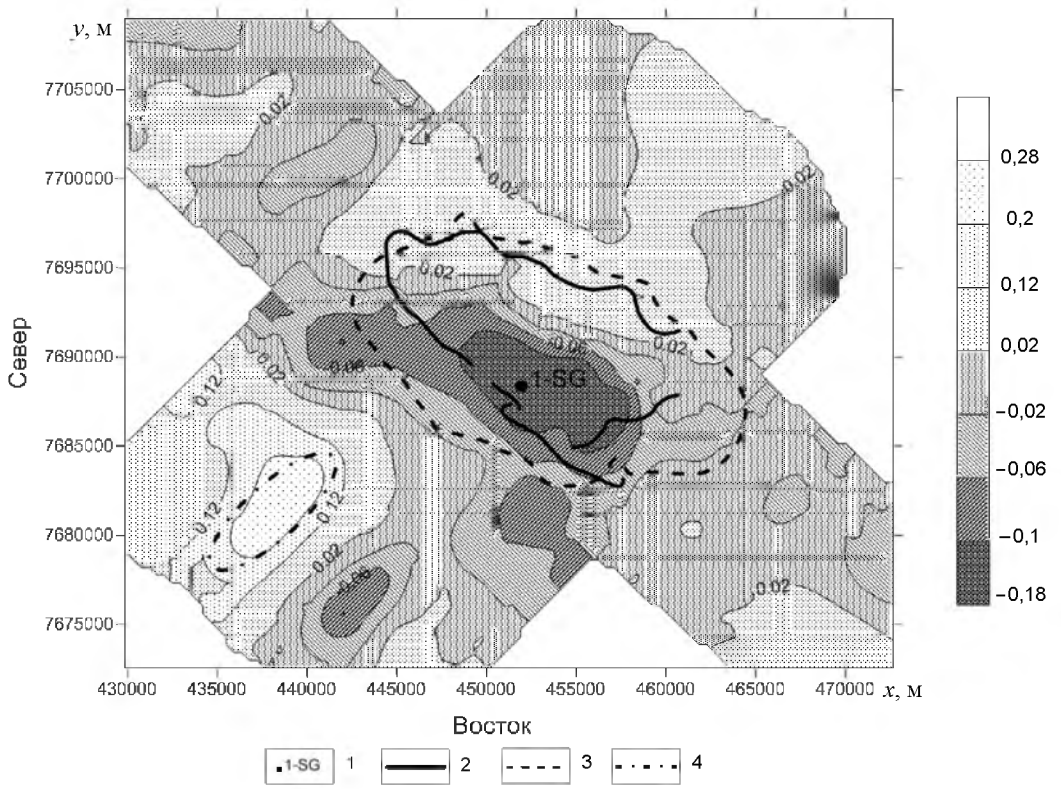


Рис.1. Карта распределения отфильтрованных значений первой главной компоненты (в условных единицах) системы переменных L_1-L_6 на Северо-Гуляевской площади с исключенным фактором влияния толщи воды

1 – продуктивная скважина; 2 – водонефтяной контакт; 3 и 4 – контуры соответственно аномалии ВП и залежи углеводородов

Особенности методики анализа во многом определены исключительно высокой корреляцией полей. Корреляционная матрица полей L_1-L_6 по профилю 6 Северо-Гуляевской площади имеет вид

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
L_1	1	0,9820	0,9997	0,9734	0,9993	0,9692
L_2	0,9820	1	0,9851	0,9855	0,9784	0,9854
L_3	0,9997	0,9851	1	0,9770	0,9985	0,9729
L_4	0,9734	0,9855	0,9770	1	0,9683	0,9765
L_5	0,9993	0,9784	0,9985	0,9683	1	0,9652
L_6	0,9692	0,9854	0,9729	0,9765	0,9652	1

Наличие сильной зависимости между переменными вовсе не означает обязательного полного дублирования информации в системе исходных признаков L_1-L_6, но нацеливает на выявление слабых аномальных эффектов, замаскированных, с одной стороны, значительным динамическим диапазоном разностей потенциалов, с другой, – относительно небольшим вкладом искомых аномальных эффектов в общую дисперсию переменных L_1-L_6.

В отличие от обычно используемых на практике методов сжатия информации, ортогонализация, заключающаяся в преобразовании данных в базис собственных векторов v_1-v_6, применена для получения новых некоррелированных переменных T_1-T_6. Значения некоррелированных главных компонент и статистики, исходной для анализа выборки, позволяют однозначно восстановить поля L_1-L_6.

Статистическая некоррелированность главных компонент допускает обработку каждой из них по отдельности, что, в свою очередь, исключает размножение искажений, неизбежно возникающих в процессе фильтрации в случае обработки коррелированных данных.

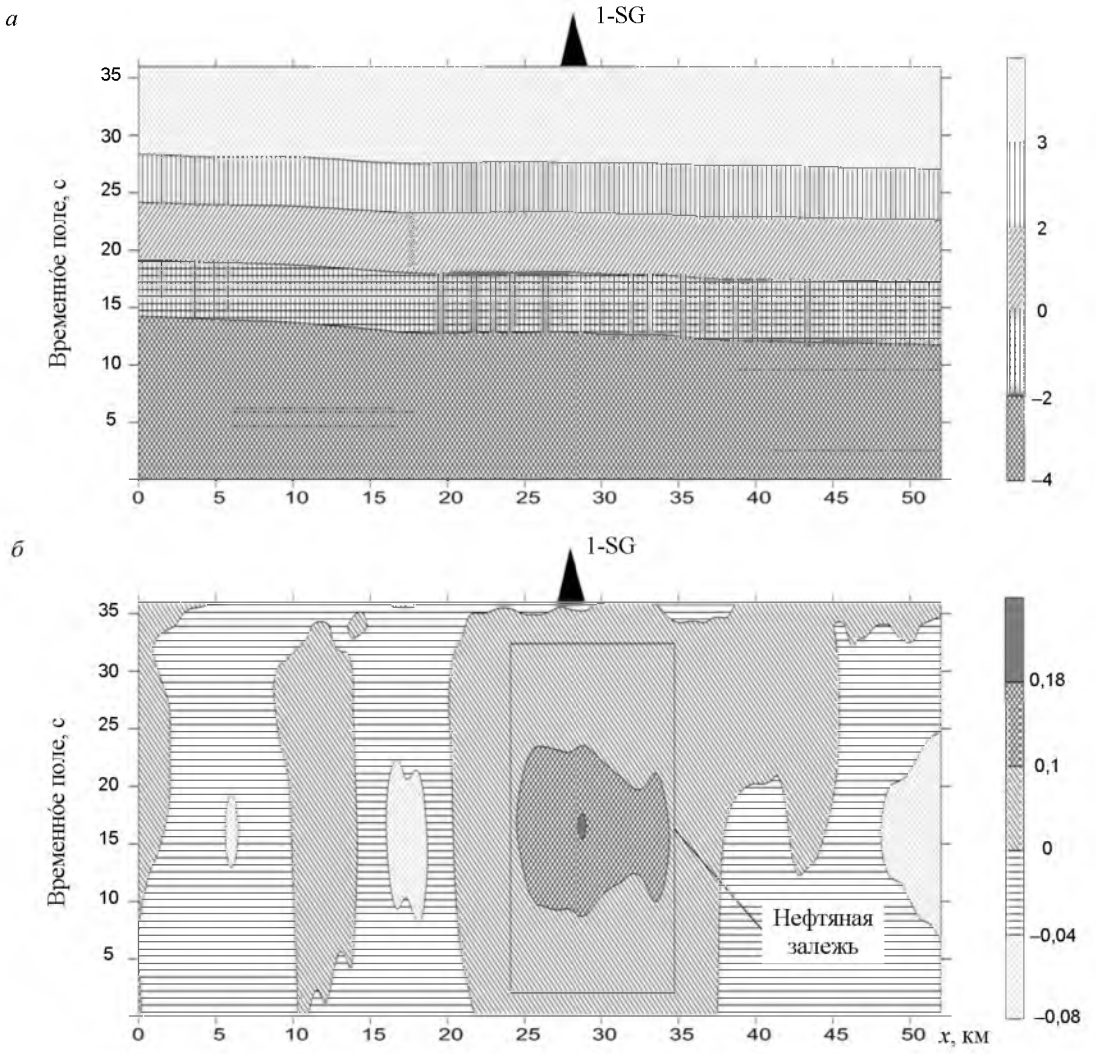


Рис.2. Временно́й разрез первой главной компоненты до (*а*) и после (*б*) минимизации влияния фактора глубины (указано положение продуктивной скважины 1-SG)

Анализ карт восстановленных значений L_1-L_6 и главных компонент T_1-T_6 для различных каналов и временных задержек показал, что априорной информации и результатам инверсии электроразведочных данных лучшим образом соответствуют карты главных компонент на временны́х задержках в средней области кривой спада. В районе месторождения и аномалии ВП распределение значений первых компонент имеет явно выраженный кольцевой характер с областью относительно пониженных значений, достаточно хорошо соответствующей контуру аномалии ВП.

Существенное влияние на данные и их распределение в многомерном пространстве признаков оказывают различные факторы, например влияние толщи воды при работах на шельфе, которое, как показали исследования, негативно влияет на возможность оценки вклада неоднородностей среды по данным L_1-L_6. Задача по минимизации этого фактора была решена с применением робастных методов многомерного регрессионного анализа. На основе данных батиметрии итеративным весовым методом многомерной регрессии строилась зависимость влияния фактора глубины на данные в компонентах по различным временным задержкам. С увеличением времени спада доля влияния этого фактора закономерно уменьшалась, что объясняется скин-эффектом.

В результате значительно выросла контрастность данных и их соответствие геологической среде (рис.2).

Предлагаемый подход к обработке высококоррелированных данных ДНМЭ повышает его разрешающую способность и дает возможность проводить экспресс-анализ результатов зондирований для предварительной оценки наличия в разрезе объектов, перспективных на поиски залежей углеводородов, как по отдельным профилям, так и в целом по исследуемой площади. Разработанный аппарат по минимизации влияния различных факторов позволяет подчеркнуть отклик от аномалеобразующих объектов. Все построения и расчеты выполнены в программном обеспечении Gelios.DNME (www.geliosmi.com).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев А.А.* Оптимизация комплекса геологоразведочных работ на нефть и газ в Северном Каспии: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Ростов-на-Дону, 2009.

2. *Богданов А.Г.* Опыт и результаты применения ДНМЭ на российской акватории Каспийского моря // Геофизика. 2004. № 5.

3. *Давыденко Ю.А.* Подавление спорадических помех и устранение тренда в дифференциально-нормированном методе электроразведки // Геофизика. 2004. № 2.

4. *Давыденко Ю.А.* Влияние судна на измерения становления поля / Ю.А.Давыденко, П.Ю.Легейдо, И.Ю.Пестерев, А.А.Петров // Геофизика. 2005. № 3.

5. *Колесов В.В.* Опыт и обустройство месторождений в прибрежной зоне Обской губы // Газовая промышленность. 2008. № 12.

6. *Хампель Ф.* Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния / Ф.Хампель, Э.Рончетти, П.Рауссеу, В.Штаэль. М., 1989.

7. *Davidenko Y., Ivanov S., Kudryavceva E., Legeydo P., Veeken P.C.H.* Geo-electric surveying, a useful tool for hydrocarbon exploration // 70-th EAGE conference & exhibition incorporating SPE Evropec 2008. Rome, 2008.

REFERENCES

1. *Alekseev A.A.* Optimization of geological prospecting complex for oil and gas on North Caspian: Author's abstract, PhD. Rostov-on-Don, 2009.

2. *Bogdanov A.G.* Results of applying DNME in the region of Caspian basin // Geophysics. 2004. N 5.

3. *Davydenko Y.A.* Sporadic noise elimination and trend reduction on the basis of differentially normalized electrical method // Geophysics. 2004. N 2.

4. *Davydenko Y.A., Legeydo P.Y., Pesterev I.Y., Petrov A.A.* Vessel influence on transition process // Geophysics. 2005. N 3.

5. *Kolesov V.V.* Experience of Gulf of Ob deposits development // Gas industry. 2008. N 12.

6. *Frank R. Hampel, Elvezio M. Ronchetti, Peter J.* Rousseeuw. Robust Statistics: The Approach Based on Influence Functions. Moscow, 1989.

7. *Davidenko Y., Ivanov S., Kudryavceva E., Legeydo P., Veeken P.C.H.* Geo-electric surveying, a useful tool for hydrocarbon exploration // 70-th EAGE conference & exhibition incorporating SPE Evropec 2008. Rome, 2008.