

**А.Л.ЛОЗОВОЙ**, канд. геол.-минерал. наук, доц., [Lozovoy\\_dp\\_ua@mail.ru](mailto:Lozovoy_dp_ua@mail.ru)

**Д.В.ГРЕЧИЩЕВА**, аспирант, [Dasha\\_pochta@ukr.net](mailto:Dasha_pochta@ukr.net)

**В.Ф.ПРИХОДЧЕНКО**, д-р геол.-минерал. наук, профессор, (+380)562-47-44-65

Национальный горный университет Украины, Днепрпетровск

**А.И.ИНГЕРОВ**, канд. геол.-минерал. наук., вице-президент, [mail@phoenix-geophysics.com](mailto:mail@phoenix-geophysics.com)

Компания «Феникс-Джеофизикс Лтд», Торонто, Канада

**A.L.LOZOVYU**, PhDr. g.-m. Sci., Assistant Prof., [Lozovoy\\_dp\\_ua@mail.ru](mailto:Lozovoy_dp_ua@mail.ru)

**D.V.GRECHISHEVA**, Post-graduate Student, [Dasha\\_pochta@ukr.net](mailto:Dasha_pochta@ukr.net)

**V.F.PRIKHODCHENKO**, Dr. g.-m. Sci., Professor, (+380)562-47-44-65

National Mining University of Ukraine, Dnepropetrovsk

**A.I.INGEROV**, PhDr. g.-m. Sci., Vice-president, [mail@phoenix-geophysics.com](mailto:mail@phoenix-geophysics.com)

«Phoenix Geophysics Ltd», Toronto, Canada

## ВОЗМОЖНОСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОН СКОПЛЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПОНЕНТНОГО АНАЛИЗА АМТ-ДАНЫХ

Рассмотрена возможность применения разновидности факторного анализа метода главных компонент для качественной интерпретации матрицы магнитотеллурических параметров с целью локализации скоплений углеводородов. Физической основой поисков нефти и газа послужила модель субвертикальной диффузии углеводородов из залежи. Последняя образует непрерывный пространственный ореол углеводородов над залежью в котором, благодаря восстановительным реакциям, происходит объемная пиритизация горных пород.

**Ключевые слова:** метод главных компонент, магнитотеллурические данные, поиски углеводородов.

## POSSIBILITIES FOR LOCALIZATION OF ZONES OF HYDROCARBON ACCUMULATION BY APPLICATION OF AMT-DATA COMPONENT ANALYSIS

Principal component method was used for qualitative interpretation of a matrix of magnetotelluric parameters. Localization of hydrocarbon congregation was the purpose of the investigations. Model of subvertical diffusion of hydrocarbon from reservoir was used as physical basis of oil and gas prospecting. The hydrocarbon pool generates continuous spatial halation of hydrocarbon above the reservoir. Due to reducing reactions in the area the volumetric pyritization of rocks took place.

**Key words:** Principal component method, magnetotelluric parameters, hydrocarbon prospecting.

На сегодняшний день для Украины актуален вопрос обеспечения энергетическими ресурсами. Одними из самых ценных и востребованных из них являются углеводороды. Физическим основам применения методов электроразведки для решения задач нефтяной геологии всегда уделялось

самое пристальное внимание [3,4]. К признакам нефтегазоносности большинство исследователей относят особый характер пластовых вод (гидрохимические признаки), типичный для нефтеносных свит, литологические особенности разреза (литологические признаки) и своеобразный геотек-

тонический режим накопления изучаемой свиты. Пластовые воды нефтяных и газовых месторождений по химическому составу делятся на два типа – хлористо-кальциевые и щелочные. В водах, контактирующих с газонефтяными залежами, протекают сложные многообразные химические реакции, наиболее характерной из которых является восстановление сульфатов вод углеводородами залежи. В результате сульфатредукции воды теряют сульфаты и накапливают сероводород. Из зоны приконтурных вод сероводород может мигрировать вместе с углеводородными газами к земной поверхности. Сероводород является активным восстановителем. Проникая с водами по порам и трещинам в породы, он вступает во взаимодействие с окисными соединениями металлов и переводит их в сульфиды. Наиболее часто осадочные породы обогащены оксидами железа. Под влиянием углеводородов оксид железа  $Fe_2O_3$  переходит в оксид  $FeO$ . В результате восстановления оксида  $FeO$  сероводородом в осадок выпадает пирит и марказит. Происходит пиритизация нефтегазоносных пород и вышележащих отложений; иногда формируются залежи сульфидов. Рассмотрим причины, вызывающие аномальные электрические эффекты над залежью углеводородов.

Выделяют три основные причины:

1. Наличие над залежью рассеянных углеводородов, которые постоянно мигрируют из залежи вверх по разрезу вплоть до дневной поверхности. Природа аномалий объясняется эпигенетической вкрапленности сульфидных минералов над залежью (в частности, пирита), образующихся в сероводородной обстановке.

2. Вступление углеводородов в химические реакции с минеральной средой, в результате чего над залежью появляются объемные электрохимические поля.

3. Увеличение удельного электрического сопротивления среды над залежью, вызванное наличием в среде воздымающихся вверх углеводородов.

Таким образом, постоянно мигрирующие вверх по разрезу углеводороды и под-

земные воды обуславливают более восстановительную обстановку в близповерхностных отложениях (даже в зоне выветривания) по сравнению с окружающими породами. В связи с этим на контакте двух сред (окислительной и восстановительной) следует ожидать изменения окислительно-восстановительного потенциала. Об этом свидетельствуют экспериментальные данные, по которым над залежью фиксируются отрицательные значения электрических потенциалов, обуславливающих появление аномальных электрических токов. Последнее приводит к тому, что над залежью в восстановительной среде электрическое поле должно значительно усиливаться по сравнению с фоновым полем, что сказывается на увеличении скорости фильтрации углеводородного потока над залежью. Поэтому в пределах продуктивных горизонтов и воздымающихся над ними потоков углеводородов ионопроводящая среда содержит в себе гораздо больше электропроводящих включений, чем за их пределами, а это способствует повышению поляризуемости среды над месторождениями нефти и газа.

Для подтверждения изложенных выше принципов поиска залежей углеводородов были проведены полевые электроразведочные работы методом аудиоманнитотеллурического зондирования (АМТЗ) с использованием аппаратуры канадской компании «Феникс Джеофизикс Лтд» [1]. Наблюдения выполнены на Терновско-Медвежанской площади вдоль профиля, пересекающего Макеевскую газоносную структуру. Расстояние между пикетами профиля было выбрано равным 2,5 км; на территории Макеевской структуры шаг был сгущен до 0,5 км. Длина приемных электрических линий 40 м; длительность интервала измерений 2,0 ч. Регистрировались пять компонент магнитотеллурического поля: две компоненты электрического поля  $E_x$  и  $E_y$ , а также три компоненты магнитного поля  $H_x$ ,  $H_y$  и  $H_z$  в частотном диапазоне от 0,35 до 10000 Гц. Измерения выполнялись синхронно двумя станциями, находящимися на расстоянии 10-15 км друг от друга. Это позволило для подавле-

ния техногенных электромагнитных помех применить методику обработки с удаленной базовой станцией. Для обработки полевых материалов был использован пакет специальных программ компании-разработчика. В результате была получена магнитотеллурическая матрица.

Качественная интерпретация результатов профильных работ АМТЗ проводилась с использованием мощного средства анализа многомерных статистических данных – факторного анализа. Факторный анализ, во-первых, позволяет получить минимальное количество новых переменных (факторов, компонент), являющихся линейными комбинациями исходных. Причем эти новые переменные содержат наперед заданное количество информации, содержащейся в исходных переменных. Во-вторых, анализ взаимосвязей новых переменных с исходными позволяет выявить генетические связи между последними и интерпретировать их в геолого-геофизических терминах. Исходными переменными были выбраны следующие величины: поперечное и продольное кажущиеся сопротивления  $R_{xy}$  и  $R_{yx}$ , поперечная и продольная фазы импеданса  $F_{xy}$  и  $F_{yx}$ , а также магнитуды типпера  $T_x$  и  $T_y$ .

Для исследований матрицы данных нами была применена одна из разновидностей факторного анализа –  $R$ -модификация метода главных компонент в детерминированном варианте, когда исследуется выборочная совокупность объектов и не делается никаких выводов об объектах генеральной совокупности.

Алгоритм решения задачи, согласно [2], был принят следующим:

1. Матрица исходных переменных  $X^{n \times p}$  ( $n$  – количество строк, произведение количества частот на количество точек АМТ-зондирования;  $p$  – количество столбцов исходных переменных, количество исходных переменных) приводилась к матрице  $Y^{n \times p}$  в форме вариаций. Предварительно столбцы матрицы  $X^{n \times p}$  нормировались с целью приведения исходных переменных к интервалу  $\{0-1\}$  и перехода к безразмерным величинам. Эта процедура необходима, поскольку исходные переменные, описывающие объ-

екты, измерены в различных шкалах и представляют собой значения величин разных порядков.

2. Вычислялась ковариационная матрица  $S^{p \times p}$ , на диагонали которой находятся дисперсии исходных переменных.

3. Рассчитывались собственные числа  $\lambda_i$  матрицы  $S^{p \times p}$  и собственные векторы  $U_i$ , соответствующие собственным числам.

4. Определялось количество  $k$  главных компонент (необходимое число компонент, которые обуславливают основную долю дисперсии исходных переменных). Для этого использовалось значение выражения:

$$P = \left( \sum \frac{\lambda_i}{trS} \right) 100,$$

где  $trS$  – трек (след) матрицы  $S^{p \times p}$  (сумма элементов, стоящих на главной диагонали).

Отметим, что удобно вычислять вклад в дисперсию  $P$  для последовательных значений  $k = 1, 2, 3, \dots$  и остановить процесс на таком значении  $k$ , при котором значение  $P$  удовлетворяет требованиям исследователя (например,  $P$  больше 75; 90 или 95 %).

5. Значения  $k$  минимальных собственных чисел  $\lambda_i$  представлялись в виде матрицы  $\lambda_i^{k \times k}$ , диагональными элементами которой являлись собственные числа ковариационной матрицы  $S^{p \times p}$ . Собственные векторы, соответствующие  $k$  минимальным собственным числам, представлялись в виде матрицы  $U_k$  (в нашем случае это матрица факторных нагрузок  $A = U_k$ ).

6. Определялась матрица  $F^{n \times k}$  значений главных компонент:  $F = Y \cdot A$ .

7. Вычислялась матрица  $\tilde{N}^{n \times k}$  коэффициентов корреляции между исходными переменными и главными компонентами. По этой матрице делались выводы о степени связи новых переменных с исходными, т.е. производилась интерпретация главных компонент. Компонентный анализ выполнен при сохранении уровня дисперсии исходных переменным равным 80 %. Матрица значений коэффициентов корреляции между магнитотеллурическими параметрами и главными компонентами представлена в таблице.

**Матрица значений коэффициентов корреляции между магнитотеллурическими параметрами и главными компонентами**

Переменная	Компонента		
	1	2	3
$R_{xy}$	0,09	0,34	0,73
$R_{yx}$	0,12	0,08	0,86
$F_{xy}$	0,99	-0,09	-0,02
$F_{yx}$	0,19	0,76	-0,38
$T_x$	0,10	0,78	0,19
$T_y$	0,08	0,73	0,20

Анализ табличных данных позволяет сделать следующие выводы:

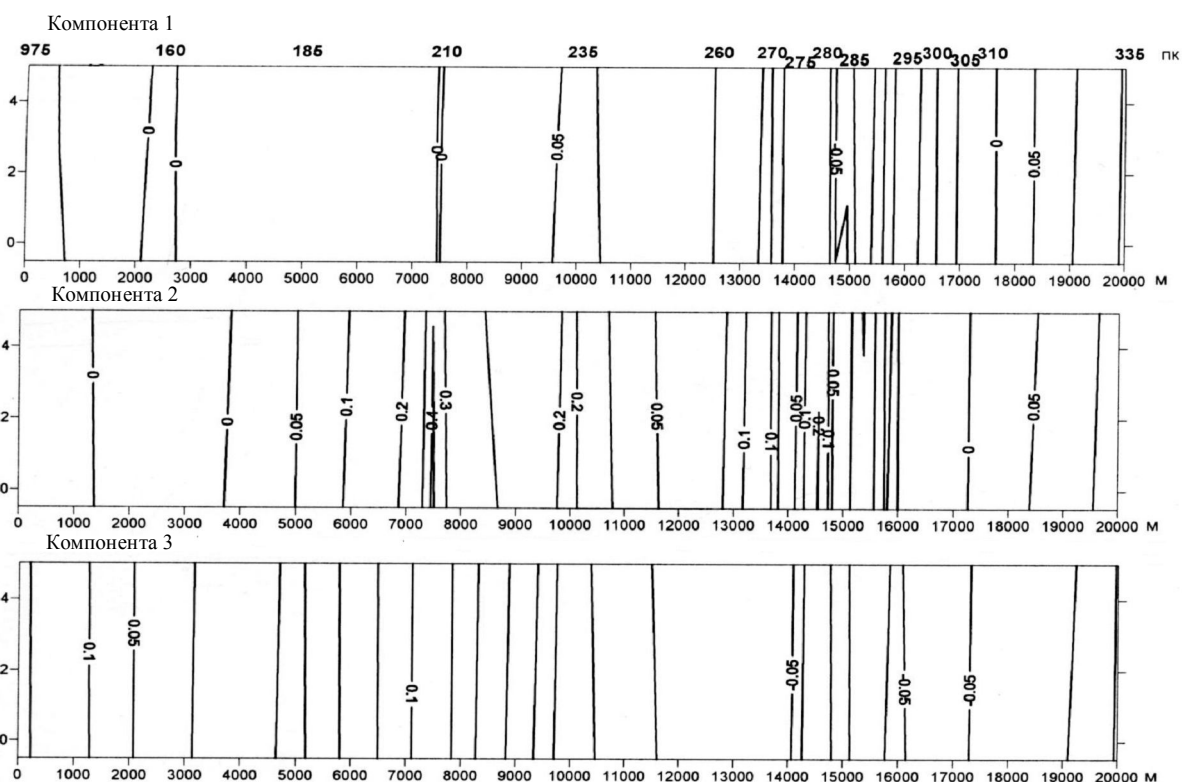
– первая компонента практически полностью (коэффициент корреляции 0,99) описывает поперечную фазу импеданса  $F_{xy}$  и слабо связана с остальными магнитотеллурическими параметрами;

– вторая компонента описывает изменчивость продольной фазы импеданса  $F_{yx}$ , и магнитуд типпера  $T_x$  и  $T_y$  (коэффициенты корреляции 0,76; 0,78 и 0,73 соответственно), имеет слабую связь с поперечным ка-

жущимся сопротивлением  $R_{xy}$  (коэффициент корреляции 0,34) и совершенно не связана с продольным кажущимся сопротивлением  $R_{yx}$  и поперечной фазой импеданса  $F_{xy}$ ;

– третья компонента может быть названа «эффективным кажущимся сопротивлением», поскольку описывает изменчивость поперечного кажущегося сопротивления  $R_{xy}$  и продольного  $R_{yx}$  (коэффициенты корреляции 0,73 и 0,86 соответственно), а также имеет слабую обратную связь с  $F_{yx}$  и практическое отсутствие связей с остальными магнитотеллурическими параметрами.

Частотные разрезы главных компонент вдоль профиля наблюдений приведены на рисунке. Горизонтальные оси на разрезах – расстояние от начала профиля (пикет № 975) в метрах, вертикальные – десятичный логарифм частоты зондирования. Анализируя приведенные разрезы и фактические геологические данные о нефтегазоносности территории, можно сделать следующие выводы. Третья главная компонента совершенно не пригодна для прогнозных целей. Этот факт



Частотные разрезы главных компонент:

компонента 1 –  $F_{xy}$ ; компонента 2 –  $F_{yx} + T_x + T_y$ ; компонента 3 –  $R_{xy} + R_{yx}$ .

свидетельствует о слабой реакции удельного электрического сопротивления на физико-химические эффекты во вмещающих горных породах, обусловленные залежами углеводородов.

Первая главная компонента более дифференцирована по латерали и имеет аномальные эффекты в пределах Южно-Макеевской и, частично, Макеевской структур, что говорит о влиянии на поперечную фазу импеданса объемной поляризации. Вторая главная компонента наиболее эффективно реагирует на эталонные объекты, пересеченные профилем. Свое отражение на ее разрезе нашли все три известные структуры (кроме вышеназванных еще и Терновская). Данный факт следует интерпретировать как повышенную чувствительность типпера, в целом, и его компонент, в частности, к вертикальным неоднородностям разреза и, в первую очередь, к аномалиям электрохимической активности горных пород.

В заключение необходимо отметить высокую ожидаемую геологическую эффективность предлагаемого метода качественной интерпретации данных АМТЗ. Это подтверждается сопоставлением разрезов главных компонент вдоль профиля, пересекающего Терновско-Медвежанскую площадь, с фактическими геологическими данными о газоносности данной территории. Кроме того, можно констатировать, что для решения задач прогноза нефтегазоносности на территории дос-

таточно выполнять трехкомпонентные ( $H_x$ ,  $H_y$  и  $H_z$ ) съемки, что существенно снизит себестоимость полевых работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аппаратура «V5 System 2000» и возможность изучения магнитотеллурических полей по методике с одиночной станцией на полях действующих угольных шахт в Украине / А.Л.Лозовой, А.И.Ингеро, Р.В.Мазуренко, Е.А.Плотников // Науковий вісник НГУ. 2007. № 1. С. 40-43.

2. *Йереског К.Г.* Геологический факторный анализ: Пер. с англ. / К.Г.Йереског, Д.И.Клован, Р.А.Реймет. Л.: Недра, 1980. 223 с.

3. *Кукуруза В.Л.* Геоэлектрические исследования при поисках залежей нефти и газа / В.Л.Кукуруза, Б.М.Смольников. Киев: Наук.думка, 1984. 140 с.

4. *Пермяков И.Г.* Нефтегазопромисловая геология и геофизика / И.Г.Пермяков, Н.Ш.Хайреддинов, Е.Н.Шевкунов. М.: Недра, 1986. 269 с.

#### REFERENCES

1. «V5 System 2000» equipment and possibilities for magnetotelluric fields study by the single station methods on the productive coal mines fields in Ukraine / A.L.Loizovoy, A.I.Ingerov, P.V.Mazurenko, E.A.Plotnikov // Naukoviy Visnik NGU. 2007. № 1. pp. 40-43.

2. *Yereskog K.G.* Geological factorial analysis / K.G.Yereskog, D.I.Klovan, R.A.Reimet. L.: Nedra, 1980. 223 p.

3. *Kukuruza V.L.* Geoelectrical investigations in the process of oil and gas deposits prospecting / V.L.Kukuruza, B.M.Smolnikov. Kiev: Nauk.dumka, 1984. 140 p.

4. *Permiakov I.G.* Oil and gas prospecting geology and geophysics / I.G.Permiakov, N.Sh.Haireddinov, E.N.Shevkunov. M.: Nedra, 1986. 269 p.