

УДК 550.837

## ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОМОРСКОГО ШЕЛЬФА ПО ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДАНЫМ

**Ширков Б. И., Кушнир А. Н.**

*(ИГФ им. С. И. Субботина НАНУ, г. Киев, Украина)*

*У роботі розглядається проблема походження вуглеводнів північно-західної частини Чорного моря, її зв'язок з глибинною електропровідністю і будовою регіону. Наведено результати МТ досліджень і попередньої тривимірної моделі о. Зміїний.*

*The problem related to the origin of hydrocarbons of the north-west part of the Black Sea, its connection with deep electrical conductance and structure of the region is reviewed. The results of MT explorations and preliminary 3D model of Snake Island (Ostriv Zmiiny) are described.*

**Вступление.** В наши дни геоэлектрика – один из ведущих разделов прикладной геофизики. Электромагнитные поля, индуцированные в Земле природными источниками, дают возможность получить уникальную информацию о глубинном строении недр, а также о физико-химических процессах, которые в них протекают. Очевидно, что изучение глубинной электропроводности существенно расширяет возможности тектонических и минералогических исследований, поэтому подобные работы являются актуальными не только для территории Украины.

Проблема дефицита энергоресурсов требует новых подходов, которые могли бы обобщить всю имеющуюся информацию о физико-химических процессах образования и накопления углеводородов, а также их проявлениях в физических полях. Многие учёные придерживаются точки зрения, что эти преобразования по

своему характеру глубинные и связаны с флюидными процессами и дегазацией земных недр.

В Чёрном море залежи УВ формируются в различных по морфологии ловушках [1, 2]. Согласно современным взглядам учёных [1-4], водород, поднимаясь от ядра Земли в более близкие к поверхности слои, может вступать в реакцию с различными формами углерода, что и обуславливает формирование УВ. Перенос УВ в верхние части земной коры является одним из проявлений процесса дегазации [5].

Дегазация неразрывно связана с вертикальными и субвертикальными зонами разрушения горных пород, которые проявляются как зоны ослабления, разуплотнения, напряжения и трещиноватости. Такие зоны обладают особыми, чаще всего достаточно контрастными геофизическими свойствами, в том числе и геоэлектрическими, поскольку заполнены проводящим флюидом. Они характеризуются повышенной электропроводностью и могут быть выявлены методами геоэлектрики.

**Глубинное строение.** Несмотря на значительный объем современных исследований, выполненных в пределах северо-западной части Черноморского шельфа, степень изученности глубинного строения региона магнитотеллурическими методами остается низкой. Современные представления о глубинной структуре региона и прилегающих площадей суши изложены в работах [6-9 и др.].

Главным тектоническим элементом северо-западного шельфа Черного моря является Скифская плита, в пределах которой выделяется целый ряд тектонических структур, отличающихся генезисом, историей развития, типом фундамента и строением осадочного чехла [10]. На севере Скифская плита граничит с Восточно-Европейской платформой, на юге – с Западно-Черноморской глубоководной впадиной. В настоящее время в этом районе общепринято выделять пять крупных тектонических элементов: Преддобрудженский прогиб, Одесский и Губкинский валы (их восточные части), Карпинский прогиб, Черноморско-Каламитский вал.

Остров Змеиный расположен в северо-западной части Чёрного моря. Территория представляет собой область наложения

Восточно-Европейской платформы и более молодых плит и складчатых комплексов. Граница платформы и более молодых образований лежит в области субширотного "шовного" разлома. К северу от о. Змеиный до широты устья лимана Сасык выделяются два горстовых поднятия, которые ассоциируются с блоками складчатого фундамента Скифской плиты - Змииноостровным и Вилковским.

Плотностные характеристики в районе северо-западной части Черного моря довольно изменчивы как латерально, так и вертикально. Нужно выделить положительную аномалию гравитационного поля непосредственно под о. Змеиный и южнее его [11], что свидетельствует о разуплотнении горных пород в земной коре этого района. Также данный район характеризуется повышенными значениями теплового потока [12]. Распределение скоростей в недрах региона сложное и неравномерное. В разрезе выделяются ряд волноводов [13], к их границам приурочены гипоцентры землетрясений [9]. Наиболее они распространены на юг и запад от о. Змеиный [7].

Северо-западный сектор шельфа Черного моря находится в зоне влияния Причерноморско-Крымской нефтегазоносной области, которая является составляющей частью Северо-Кавказско-Мангышлакской нефтегазоносной провинции [14]. В пределах северо-западной части Черноморского шельфа разрабатывается восемь основных месторождений, из которых наиболее крупные это Одесское, Голиценское, Штормовое и Архангельское. Промышленные скопления углеводородов обнаружены в отложениях верхнего мела, палеоцена, эоцена, майкопа и миоцена.

**Геоэлектрические исследования.** Область исследований, представленная в данной статье, как и вся северная ветвь Евразийского пояса [15], сопровождается аномалиями электропроводности в земной коре и верхней мантии [16]. Сопредельная территория Северной Добруджи и Преддобруджского прогиба, как и вся юго-западная окраина ВЕП, имеет несколько объектов высокой электропроводности [17] в недрах земной коры, а распределение электропроводности в верхней мантии отражает положение зоны сочленения древней Восточно-Европейской платформы и молодой Скифской плиты.

На западе Крыма выделена аномальная область повышенной электропроводности подковообразной формы, её суммарная продольная проводимость варьируется от 500 до 3000 См. От Тарханкутского полуострова до Новоселовского поднятия в субширотном направлении простирается аномалия электропроводности шириной 20-30 км с суммарной продольной проводимостью 5000 см на глубине 5 км. В восточной части Крыма на периодах выделяется зона проводимости на глубинах 2 и 5 км с суммарной продольной проводимостью 2500 и 5000 см, соответственно [18].

В 2012 году на о. Змеиный были проведены Институтом геофизики им. С. И. Субботина экспериментальные магнитотеллурические и магнитовариационные наблюдения [19]. Их обработка выполнена с помощью программного комплекса PRC\_MTMV [20, 21], а также программы PTS [22, 23].

В результате были получены кривые кажущегося сопротивления (кривые МТЗ) и типперы (векторы индукции) в диапазоне периодов 300 - 18000 с (по программе PTS), для периодов 10 - 4000 с (с помощью программы PRC\_MTMV), а также - полярные диаграммы кажущегося сопротивления.

Полярные диаграммы кажущегося сопротивления ( $\rho_k$ ) (рис. 1) слева получены через импеданс, а справа - через адмитанс (с помощью программы PTS). Практически на всех периодах они отражают одинаковую поляризацию тока, которая близка к направлениям С-Ю и З-В, отклоняясь от них не более, чем на  $20^\circ$ , хотя амплитуды часто различаются.

Амплитудные и фазовые кривые  $\rho_k$  (рис. 2), полученные с помощью программы PTS, более качественно отражают сопротивления на длинных периодах (особенно при импедансной оценке). Кривые приведены в главных направлениях, которые были определены по полярными диаграммами и составляют  $10^\circ$  и  $90^\circ$ . Чётко заметны особенности кривых МТЗ в разных направлениях. В рамках двумерной модели кривая в направлении  $10^\circ$  соответствует продольной кривой. Нужно отметить, что сопротивления на всех периодах находятся в диапазоне 1000 – 10000 Ом\*м. Амплитудная кривая значительно «задрана» вверх, что можно объяснить сильным шифт-эффектом, который возникает в результате проведения эксперимента на небольшом остро-

ве. Значительная проводимость окружающей среды сильно влияет на электромагнитное поле на острове. В то же время фазовые кривые четко попадают в диапазон глобальных данных на длинных периодах.

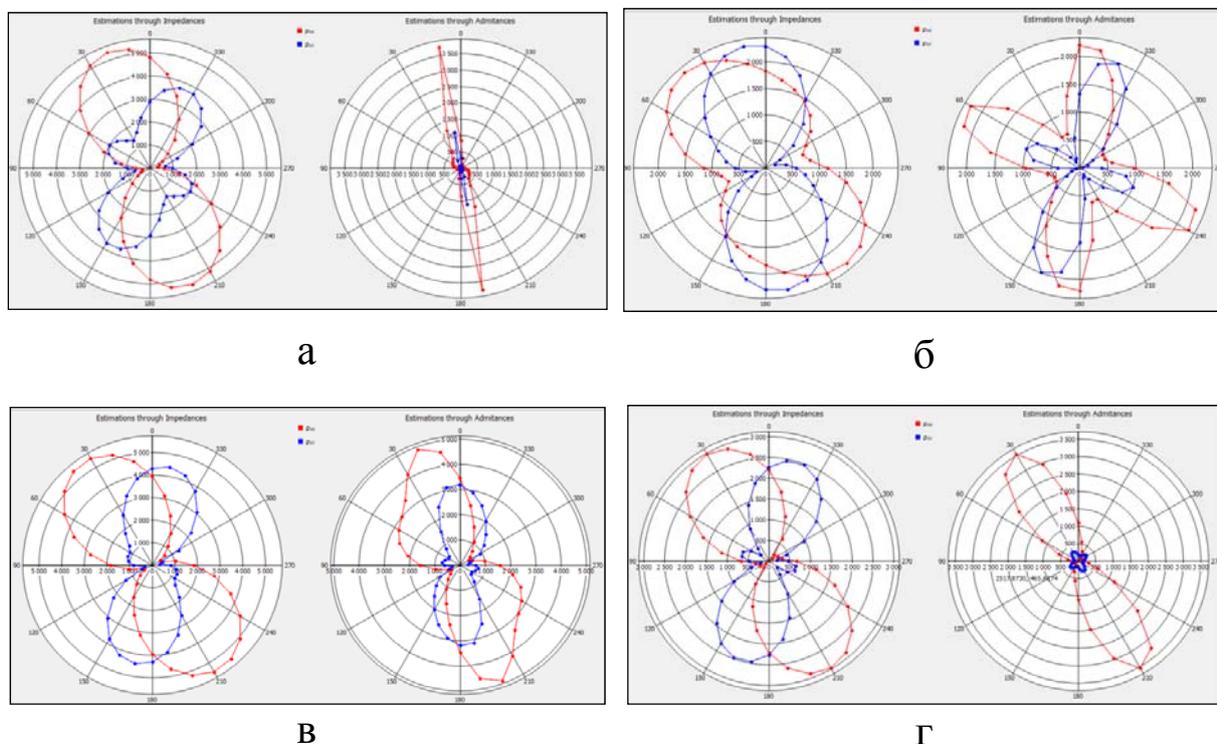


Рис. 1. Полярные диаграммы для периодов 300 с (а), 1000 с (б), 4000 с (в) і 25000 (г) (по программе PTS)

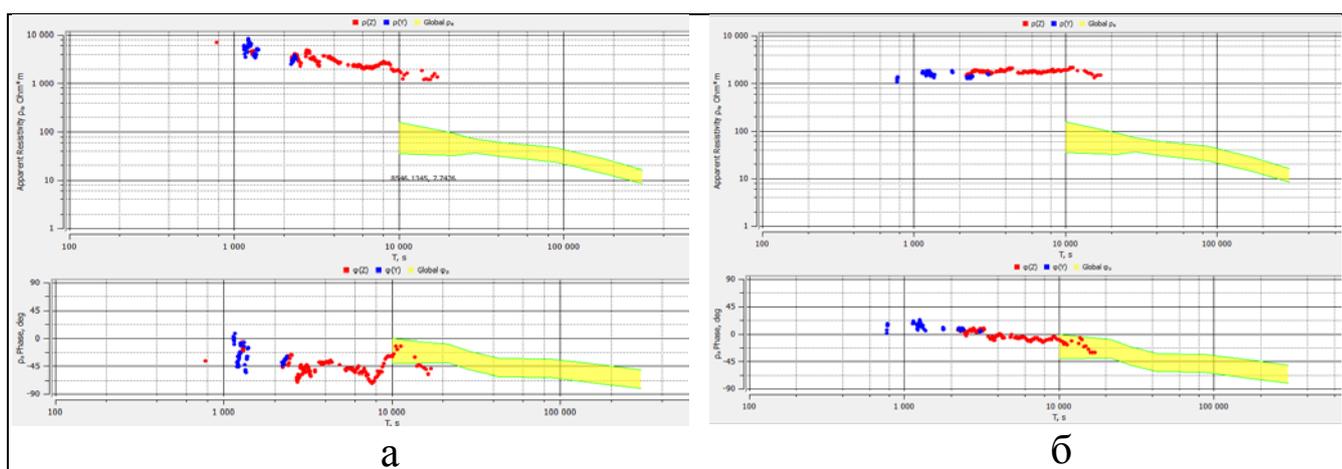


Рис. 2. Кривые кажущегося сопротивления и фазовые кривые  $\rho_{xy}$ ,  $\varphi_{xy}$  (а) и  $\rho_{yx}$ ,  $\varphi_{yx}$  (б) (по программе PTS)

Максимум частотной характеристики  $C_u$  (рис. 3) наблюдается на периодах 1000 - 2000 с. Величины  $C_u$  на этих периодах составляют 0,38 - 0,4. Азимуты типперов в этом диапазоне -  $275^\circ$  -  $285^\circ$ . При увеличении периодов происходит постепенный разворот типпера в восточном направлении.

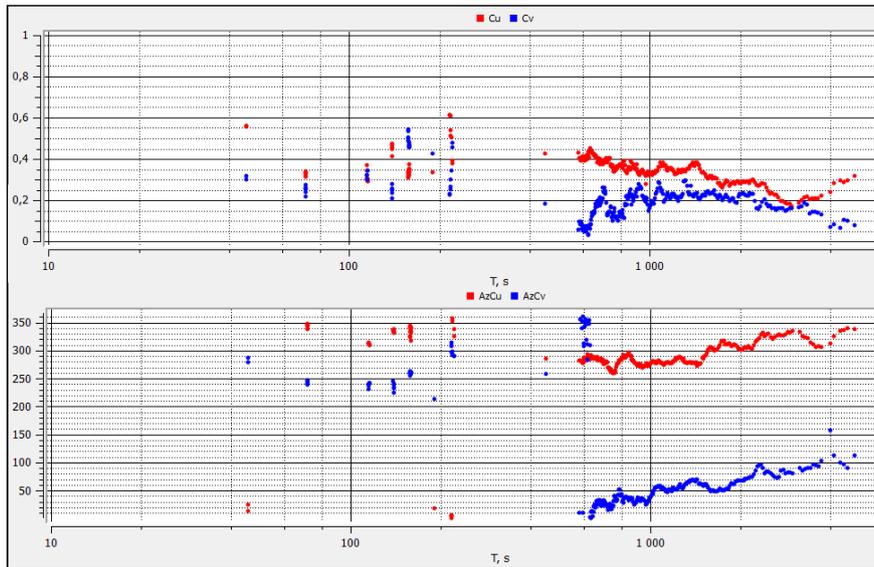


Рис. 3. Компоненты типпера  $C_u$  і  $C_v$  і їх азимуты (по программе PTS)

С помощью программы PRC\_MTMV удалось получить  $\rho_k$  на значительно более коротких периодах (рис. 4 а).

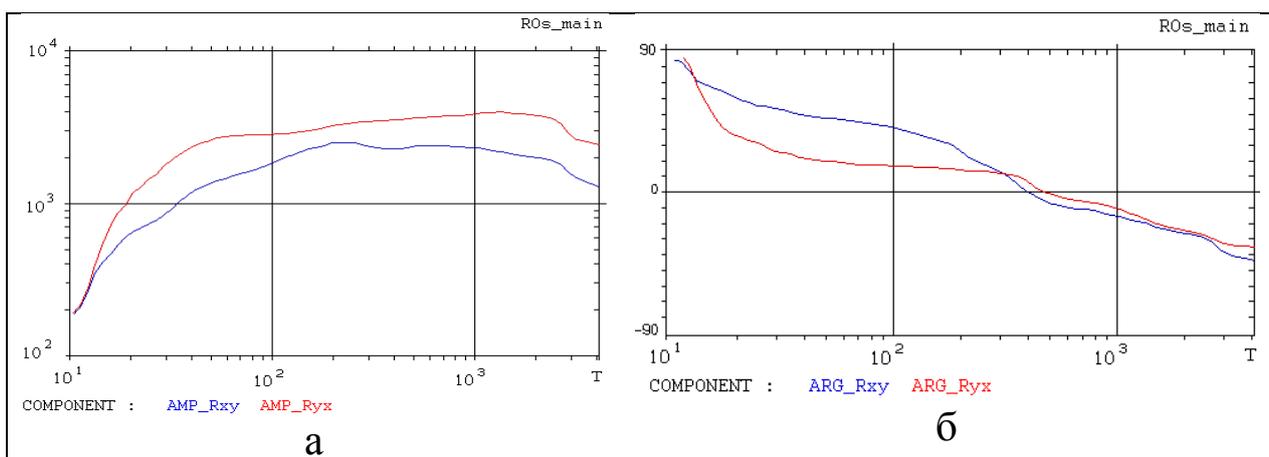


Рис. 4. Кривые кажущегося сопротивления  $\rho_{xy}$  и  $\rho_{yx}$  (а) и фазовые кривые (б) (полученные с помощью программы PRC\_MTMV)

Качественный анализ свидетельствует о наличии проводников (преимущественно субширотного простирания, о чем говорит различия меридиональной и широтной кривых) на глубинах порядка 50 км.

Фазовые кривые находятся в диапазоне от  $-90^\circ$  до  $90^\circ$ , постепенно падая с увеличением периода (рис. 4 б). На кривых имеется перегиб на периоде около 250 с и переход через ноль на периоде 300 - 350 с. Уровень фазовых кривых в различных программах обработки совпадает.

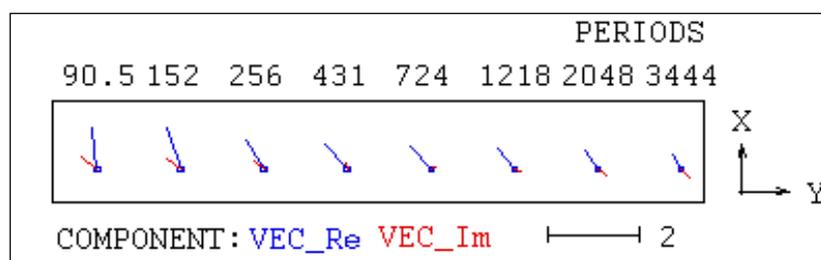


Рис. 5. Реальная и мнимая компоненты типпера (полученные с помощью программы PRC\_MTMV)

Типперы, полученные с помощью программы PRC\_MTMV (рис. 5), имеют аномально высокие значения на периодах до 250 с, что может быть связано с наличием помех. Направление, в котором развёрнуты типперы, меняется от почти северного на периоде 90,5 с до  $310^\circ$  на периодах 400 - 700 с. Абсолютные величины реальной составляющей составляют 0,5 - 0,7.

На основе этих данных выполнена одномерная инверсия [24]. Распределение  $\rho_k$  в значительной степени неоднородно. Величина  $\rho_k$  имеет широкий диапазон изменений: от 2000 Ом·м на глубинах до 8 км и до 0,06 Ом·м на 2500 км. На фоне общего уменьшения выделяются значительные отклонения (рис. 6) в интервале глубин от 10-45 до 100-120 км. Это говорит о наличии мощного проводника теллурических токов на этих глубинах. Возможно, также, выделение проводников на глубинах 200-300 км и 800-1000 км.

**Трёхмерная геоэлектрическая модель северо-западной части Черноморского шельфа и о. Змеиный.** Также было проведено предварительное построение трёхмерной геоэлектриче-

ской модели на основе вышеприведённых данных. Инструментом для расчета компонент магнитотеллурического поля, типперов и кривых  $\rho_k$  послужила программа 3D моделирования Р. Макки [25].

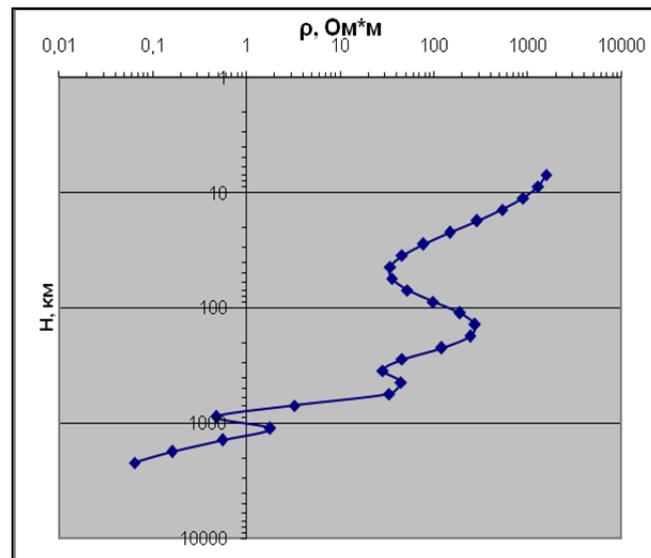


Рис. 6. Распределение удельного электрического сопротивления в земной коре и мантии по данным одномерной инверсии (о. Змеиный)

Верхняя часть модели до глубины 4 км полностью включает в себя толщу морской воды с удельным электрическим сопротивлением ( $\rho$ ) 0,05-0,1 Ом·м. Сопротивление осадочных отложений, мощность которых в грабеноподобных впадинах достигала 4 км, составляет 30-15 Ом·м. Сам о. Змеиный, а также Змииноостровное и Вилковское поднятия сложены полуметаморфизированными породами нижнепалеозойского возраста, сопротивление которых высокое и в модели было положено 1000 Ом·м.

На глубинах 20 - 100 км в разрезе проявляется проводящая структура (рис. 7), которая в модели отражена субширотным проводником с  $\rho = 25$  Ом·м. Его суммарная продольная проводимость составляет 3200 См.

Аномалия электропроводности, заложенная в модели на глубинах 20 - 100 км, занимает промежуточное положение между разломами: региональным Печенга-Камена, который, возможно,

является продолжением в Черном море линиамента Тейсейра-Торнквиста, на юге и Килийским на севере.

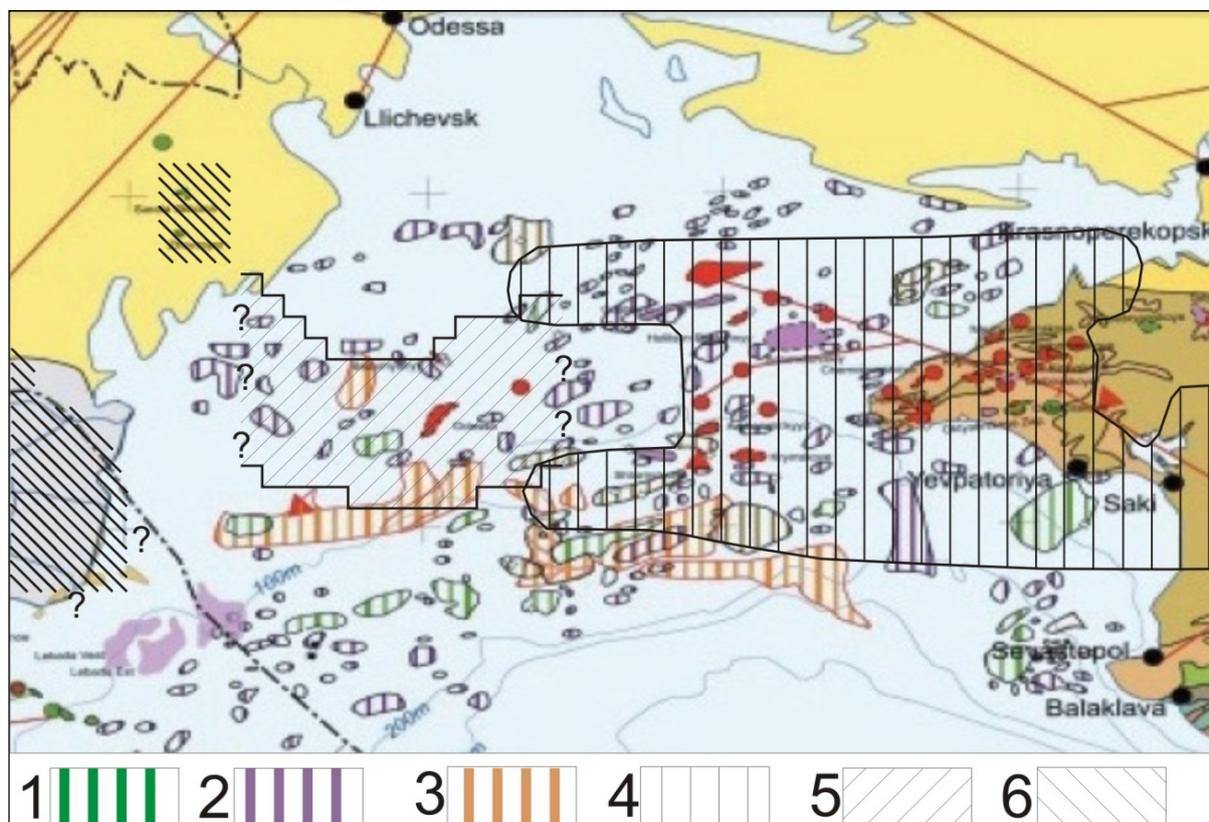


Рис. 7. Аномалии электропроводности и месторождения УВ северо-западной части Чёрного моря (1 – месторождения нефти; 2 – месторождения газа; 3 – газоконденсатные месторождения; 4 – Тарханкутская аномалия электропроводности; 5 – аномалия электропроводности, полученная по предварительной модели; 6 – аномалии электропроводности Преддобруджского прогиба)

На схеме видно (см. рис. 7), что значительная часть месторождений УВ на шельфе и континентальном склоне северо-западной части Чёрного моря, а также в Крыму и на Преддобруджском прогибе находится в пределах аномалий высокой электропроводности или вблизи них. Этот факт может служить подтверждением гипотезы о генетической и пространственной связи

между зонами пониженного сопротивления и залежами углеводородов.

### **Выводы.**

На о. Змеиный проведены долгопериодные измерения компонент электромагнитного поля Земли. Выполнена обработка данных этого эксперимента с помощью двух программных комплексов. На основе этих материалов произведена инверсия и построение предварительной 3D геоэлектрической модели региона.

Данные проведенного предварительного трёхмерного моделирования согласуются с представлениями об аномалиях электропроводности в северо-западной части Черного моря [17, 18, 26]. Возможно гальваническое соединение выявленного проводника с подобными зонами пониженного сопротивления Преддобруджского прогиба на западе, а также с Тарханкутской аномалией электропроводности на востоке.

Такие зоны высокой электропроводности могли возникнуть вследствие наличия флюидов и, возможно, их следует рассматривать как районы глубинных очагов генерации углеводородов и места поступления их в верхние части земной коры [4, 27].

### **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Лукин А. Е. О перспективах нефтегазоносности прикерченского шельфа // Геол. журн. — 2008. — № 2. — С. 7—20.
2. Лукин А. Е. Основные закономерности формирования залежей нефти и газа в Черноморском регионе // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2006. — № 3. — С. 10—21.
3. Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель С. Р. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. — Тюмень : Вектор Бук, 2003. — 344 с.
4. Мегеря В. М. Поиск и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли. — Москва : Локус Станди, 2009. — 256 с.

5. Старостенко В. И., Лукин А. Е, Русаков О. М., Пашкевич И. К., Кутас Р. И., Гладун В. В., Лебедь Т. В., Максимчук П. Я., Легостаева О. В., Макаренко И. Б. О перспективах открытия массивных залежей углеводородов в гетерогенных ловушках Чёрного моря // Геофизический журнал. — 2011. — 34, № 5. — С. 3—22.
6. Бугаенко И. В., Шумлянская Л. А., Заец Л. Н., Цветкова Т. А. Трёхмерная Р-скоростная модель мантии Черного моря и прилегающей территории // Геофиз. журн. — 2008. — № 5. — С. 145—160.
7. Козленко М. В., Козленко Ю. В., Лысынчук Д. В. Глубинное строение земной коры западной части черного моря по результатам комплексной переинтерпретации геофизических данных по профилю ГСЗ 25 // Геофиз. журн. — 2009. — № 6. — С. 77—91.
8. Старостенко В. И., Бурахович Т. К., Кушнир А. Н., Легостаева О. В., Цветкова Т. А., Шеремет Е. М., Шумлянская Л. А. Возможная природа сейсмической активности недр Преддобруджинского прогиба и Северной Добруджи // Геофизический журнал — 2013 — т. 35, № 1. — С. 61—75.
9. Старостенко В. И., Пашкевич И. К. Макаренко И. Б., Русаков О. М., Кутас Р. И. Легостаева О. В. Разломная тектоника консолидированной коры северо-западного шельфа Черного моря // Геофиз. журн. — 2005. — № 2. — С. 195—207.
10. Геология шельфа УССР. Тектоника / Под ред. Е. Ф. Шнюкова. — Киев : Наук. думка 1987. — 152 с.
11. Кабан М. К., Гравитационная модель коры и верхней мантии Северной Евразии. Российский журнал наук о Земле. Том 3, № 2, 2001.
12. Kutas R. I., Kobolev V. P., Tsvyashchenko V. A. Heat flow and geothermal modl of the Black sea depression Tectonophysics, 1998, 291, p. 91—100.
13. Бугаенко И. В., Шумлянская Л. А., Заец Л. Н., Цветкова Т. А. Трёхмерная Р-скоростная модель мантии Черного моря и прилегающей территории // Геофиз. журн. — 2008. — № 5. — С. 145—160.

14. Корценштейн В. Н. Водонапорные системы крупнейших газовых и газоконденсатных месторождений СССР. — М. : Недра, 1977. — 247 с.
15. Хаин В. Е. 2001. Тектоника континентов и океанов. Научный мир, М. — 586 с.
16. Кулик С. Н. Северная ветвь Евразийских аномалий электропроводности // Геофизический журнал. — № 4. — Т. 31. — 2009. — С. 168—180.
17. Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Кушнир А. Н., Зайцев Г. Н., Ганиев А. З., Шеремет Е. М., Николаев Ю. И., Николаев И. Ю. 3D геоэлектрическая модель Добруджи и Преддобруджского прогиба. — Наукові праці УкрНДМІ НАНУ збірник наукових праць. Частина 2, — Донецьк, 2011 — 532 с.
18. Бурахович Т. К., Кулик С. Н. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель тектоносферы Крыма. // Геоф. ж. — 1999. — № 3, т. 21. — С. 123—126.
19. Ширков Б. И., Кушнир А. Н. Геоэлектрические исследования о Змеиный и сейсмичностью. Материалы конференции «Геоинформатика – теоретические и прикладный аспекты»: Киев, 13-16 мая 2013 г.
20. Varentsov Iv. M. Golubev N. G. Martanus E. R. et. al. Magnetotelluric processing system PRC-MTMV its applications// Russian-German Seminar “Actual Problems in Deep EM Studies” (Extended Abstracts) Moscow. OIFZ RAN. — 1997. — P. 51—52.
21. Varentsov Iv. M., Sokolova E. Yu., the BEAR Working Group. Data processing techniques for the array EM sounding. // XV Working on EM Induction in the Earth. Cabo Frio. Brazil. — 2000. — P. 79.
22. Ладанивский Б. Т. Алгоритм обработки данных МТЗ // Тезисы докладов Пятых геофизических чтений им. В. В. Федынского. — М. — 2003. — С. 134—135.
23. Семенов В. Ю. Обработка данных магнитотеллурического зондирования. М. ; "Недра ", 1985 — 133 с.
24. Пальшин Н. А. Опорный разрез и электропроводность верхней мантии // Тезисы Третьей международной школы-семинара по электромагнитным зондированиям. Звенигород, 2-9 сентября, 2007 г.

25. Randall L. Macki, J. Torquil Smith, Theodore R. Madden. Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The magnetotelluric example. *Radio Science*, V. 29, N 4, 1994, P. 923—935.
26. Бурахович Т. К., Кулик С. Н. Модель электропроводности земной коры Украины. // *Физика Земли*. — 2000. — № 10. — С. 48—56.
27. Летников Ф. А. Дегазация земли как глобальный процесс самоорганизации. Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. М. : ГЕОС, 2002. — С. 6—7.