

Геоэлектрические исследования нефтегазоносного района южного борта центральной части Днепровско-Донецкой впадины

Т. К. Бурахович, А. Н. Кушнир, В. А. Ильенко, 2018

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 20 июня 2018 г.

Для дослідження глибинної будови центральної частини південного борту Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), де Кіровоградська аномалія електропровідності перетинає Лохвицький та Полтавський блоки западини, в 2017 р. було проведено сучасні синхронні магнітотелуричні та магнітоваріаційні дослідження по профілю Несено-Іржавець—Абрамівка в 11 пунктах. Експериментальні матеріали оброблено за допомогою відомих програм PRC_MTMV та PTS. Оцінено типери для періодів геомагнітних варіацій від 30 до 3700 с та параметрів позірною питомого електричного опору (амплітудні значення та фази імпедансу) від 40 до 10 000 с. Спільний аналіз комплексних типерів і кривих позірною питомого електричного опору і фаз імпедансу вказує на наявність поверхневого провідника, який простягається з північного заходу на південний схід і пов'язаний з поверхневою провідністю осадової товщі ДДЗ. Просторово деталізовано неоднорідність, що передбачається в глибинних горизонтах з верхньою кромкою на глибині 20—30 км у середній частині профілю і відповідає Кіровоградській аномалії електропровідності. Якісна інтерпретація експериментальних МТ/МВ даних дає змогу уточнити перспективну площу на нафтогазоносність у районі південного борту, що оконтурює центральну частину ДДЗ між населеними пунктами Хорол і Решетилівка. Крім того, підтверджено та деталізовано раніше виділену нафтогазоперспективну ділянку, а саме нафтогазоперспективну площу № 2 у фундаменті ДДЗ, з якою пов'язана аномалія в її південно-східній частині, яку продовжено на південний схід на 20 км. В експериментальних даних є інформація про існування глибинного провідника, але його наявність та параметри можна отримати тільки в результаті подальшого геоелектричного моделювання. Інформація про існування глибинного провідника та його параметри і про ймовірне, за новими даними, занурення верхньої кромки провідника до глибини 20—30 км у південно-західному напрямку стануть основою для кількісної інтерпретації та побудови 3D глибинної геоелектричної моделі.

Ключові слова: південний борт Дніпровсько-Донецької западини, Кіровоградська аномалія електропровідності, магнітотелуричні та магнітоваріаційні методи, нафтогазоперспективні площі.

Вступление. Исследования литосферы геолого-геофизическими методами дают основание для выяснения фундаментальных вопросов флюидного режима и дегазации Земли. Прежде всего они касаются построения моделей формирования и проникновения в земную кору глубинных высокотемпературных флюидов — важ-

ного источника для всех последующих процессов формирования рудных и нефтегазовых месторождений [Летников, 2001]. Флюидные потоки проникают сквозь литосферу через дренирующие зоны высокой проницаемости, которые в многочисленных случаях соответствуют глубинным разломам.

Исследования показывают, что области сочленения различного типа тектонических плит характеризуются электропроводящими структурами [Kulik, 2004]. Природа таких глубинных региональных аномалий не обязательно объясняется частичным плавлением, а может быть результатом транспортировки флюидов и, соответственно, рудных компонентов из коры и мантии при тектономагматической активизации. Водород и углерод в земной коре и верхней мантии также могут перемещаться в зонах сочленения разновозрастных плит и обеспечивать рост электропроводности, что позволяет прогнозировать перспективные площади на выявление полезных ископаемых.

При поисках углеводородов магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) эффективно дополняет сейсморазведочные исследования, позволяя получать информацию о литологических и коллекторских свойствах горных пород [Бердичевский, Дмитриев, 2009].

В ряде случаев, когда сейсморазведка демонстрирует низкую эффективность, МТЗ оказывается наиболее информативным методом при решении структурных задач. Большая глубинность зондирования обуславливает возможность применения метода для поиска крупных нефтяных месторождений в глубоких горизонтах областей, где верхняя часть разреза существенно неоднородна и имеет значительную суммарную продольную проводимость. Для изучения продуктивных горизонтов используются 3D технологии [Тригубович, 2013]. Например, в новой нефтегазовой провинции Восточной Сибири (окрестности Желдонской параметрической скважины) под горизонтально-неоднородным слоем (по данным пространственно-временного/частотного распределения электромагнитного поля) на глубине 4500 м спрогнозирован высокопроницаемый коллектор с низкими значениями продольного электрического сопротивления ($\rho = 5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Слабопроницаемый коллектор имеет более высокие значения сопротивления ($\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$).

На геоэлектрическом разрезе профиля IV, который пересекает Московскую синеклизу (проект "Рифей") и построено с учетом данных бурения и сейсморазведки методом общей глубинной точки (ОГТ), отчетливо выделяются проводящие породы девона, венда, рифея, интересные с позиции нефтегазоносности. Сопротивление пород, составляющее первые единицы $\text{Ом} \cdot \text{м}$, при мощности отложений 2—3 км свидетельствует о их хороших коллекторских свойствах, связанных с увеличением пористости [Дмитриев и др., 2014].

Методика литологической интерпретации результатов комплексирования данных сейсморазведки (ОГТ) и МТЗ позволила в пределах перспективных свит выделить области с наилучшими коллекторскими свойствами и оценить качество флюидопоров на полуострове Таймыр, где нефтегазоносность связывают с юрско-меловым уровнем разреза [Дмитриев и др., 2014].

Для более точного и обоснованного прогноза нефтегазоносности рифогенных объектов Тимано-Печорской провинции принята попытка дополнить сейсмогеологический разрез новыми данными, полученными с помощью магнитотеллурических исследований. Так, над рифогенными антиклинальными структурами закономерно наблюдаются низкоомные слои. Предполагается, что это трещиноватые постседиментационные структуры, проникающие вверх до глубины 1500 м и обладающие низким сопротивлением (менее $4 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) [Губин, 2008].

В компании ООО "Северо-Запад" технология МТЗ лидирует в области региональных электроразведочных исследований, как наиболее перспективная при изучении нефтегазоносности осадочных бассейнов и т. д. [Метод ..., 2017].

Одним из основных результатов интерпретации данных МТЗ на площади "Subandino Sur" в Боливии являются карты поверхности девонских отложений — основной газоносной толщи района. Выделено положение основных "валов" и "прогибов" и сделано предположение о миграции углеводородов не только вкост антикли-

нальных структур, но и по их простира-нию. Такая информация важна для вы-бора местоположения скважин и анали-за перспективных участков [Нефтегазо-поисковые ..., 2017].

Сейсморазведка в условиях соляноку-польной тектоники в Прикаспийской впа-дине не дала четкого представления о стро-ении разреза под куполами и литологии подсолевой толщи. С помощью МТЗ ре-шалась задача определения формы соля-ных куполов и выделения карбонатных по-род в подсолевой толще, к которым мо-гут быть приурочены крупные месторож-дения углеводородов [МТЗ ..., 2005].

Особенность разреза на участке Доб-рич на северо-востоке Болгарии — нали-чие "жесткой" сейсмической границы, со-ответствующей кровле известняков мело-вого возраста. Эта граница не позволяет получать по данным сейсморазведки дос-товерную информацию об интересующей части разреза, а именно о нижнекаменно-угольных отложениях, которые предполо-жительно должны находиться на глубине 2—3 км. В то же время для электрораз-ведки эта граница не является помехой. Уникальный по объему (около 580 пунк-тов) и качеству наблюдений материал МТЗ позволил оконтурить структуру, которая на глубине 1—1,5 км картируется как вы-сокоомный объект, а на глубине 2,5—3 км — как проводящая зона и в своей восточ-ной части совпадает со структурой, выде-ленной по данным сейсморазведки [МТЗ ..., 2004].

Проводящие зоны верхней мантии, ха-рактеризующие усиление глубинного теп-лового режима, рассматриваются как оча-ги генерации углеводородов в Омской об-ласти. Более 100 нефтяных и газовых за-лежей уже известны в древних породах "классического фундамента" Западной Си-бири (докембрий, палеозой). Изучение кри-сталлических пород (массивных неслои-стых геологических толщ) сейсморазвед-кой — достаточно сложная задача. Для доюрских образований в районах с изве-стными месторождениями наличие нефти и газа характеризуется увеличением со-

противления, а контуры высокоомных ано-малий практически совпадают с конту-рами месторождений. Наибольшие измен-ения претерпевают породы в интерва-ле 600—900 м над залежью. В результа-те исследований, выполненных комплек-сом геохимических и электроразведочных методов на нефтеносных участках Запад-ной Сибири, получены дополнительные сведения о глубинном строении, площад-ное и пространственное распределение геоэлектрических характеристик, в том числе для нефтеперспективных объектов, а также выявлены закономерности разме-щения геохимических аномалий и их кор-реляция со структурными особенностями [Кисмерешкин и др., 2009].

В работе [Эпов и др., 2014] обосновано использование двух электроразведочных методов зондирования становлением поля (ЗС) и МТЗ, которые имеют различную глубинность и разрешающую способность: по данным ЗС получены наиболее деталь-ные геоэлектрические параметры верх-ней части разреза в среднем до 3 км, а по данным МТЗ — геоэлектрические ха-рактеристики палеозойского основания до глу-бины ~15 км. Предложенный комплекс ре-комендуется использовать для поиско-разведочных работ на углеводороды в ус-ловиях Западной Сибири, где разрез сла-бо дифференцирован по удельному элект-рическому сопротивлению.

Таким образом, приведенный обзор уве-ренно свидетельствует, что использование результатов наблюдения естественного электромагнитного поля ионосферно-маг-нитосферного источника в низкочастот-ном диапазоне позволит достаточно обос-новано ответить на важные вопросы глу-бинного геологического строения зоны со-членения Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) и Украинского щита (УЩ). В пер-вую очередь это касается вопроса о суще-ствовании, пространственном распреде-лении и природе аномалий высокой элект-ропроводности в земной коре регионов, имеющих разную геологическую историю при глубинном и поверхностном прогно-зировании углеводородов.

Методы исследования геоэлектрического строения земных недр основаны на изучении индукции внешнего ионосферно-магнитосферного электромагнитного поля в среде, характеризующейся высокой электропроводностью по сравнению с проводимостью атмосферы. Метод МТЗ сформулирован для горизонтально-слоистой среды, которая не содержит локальных неоднородностей электропроводности. Кроме того, метод магнитовариационного профилирования (МВП) основывается на анализе индукции первичного поля в локальных неоднородностях среды.

Однако реальная ситуация более сложная, чем основанная на представлении о плоской электромагнитной волне, которая падает на горизонтально-слоистую среду. Поэтому введены некоторые уточнения, которые формально определяются соотношением между напряжением электрического и магнитного полей:

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y, \\ E_y &= Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где Z_{xy} , Z_{yx} — основные, а Z_{xx} , Z_{yy} — дополнительные импедансы.

Очень удобно представить магнитное поле в условиях горизонтально-неоднородной среды в виде соотношения Визе—Паркинсона:

$$\begin{aligned} H_z &= [W] H_\tau, \\ [W] &= \begin{bmatrix} W_{zx} & W_{zy} \end{bmatrix}, \quad H_\tau = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (2)$$

где H_y — северная, H_x — восточная, H_z — вертикальная компоненты геомагнитных вариаций в диапазоне периодов (T) 100—4000 с; W_{zx} и W_{zy} — комплексные коэффициенты линейной связи компонент поля в зависимости от частоты ω переменного электромагнитного поля геомагнитных вариаций. Эти коэффициенты в современной терминологии называются "тип-перами", или "индукционными параметрами" [Бердичевский, Дмитриев, 2009, с. 158].

Но и такое представление не является совершенным. Оно основано на предположении, что соленоидальное первичное магнитное поле может быть разделено на две моды — трансверсально-электрическую и трансверсально-магнитную (последняя незначительна). В работе [Шуман, Савин, 2011] показано, что в условиях сферичности между нормальной составляющей магнитного поля и тангенциальными составляющими существует более сложная связь, включающая горизонтальную составляющую градиентов поля и импеданса. Следовательно, в условии (2) индукционные параметры могут не быть постоянными и изменяться со временем.

Для сферических источников, в нашем случае это касается токов, которые формируются в ионосфере Земли, магнитное поле генерируется несколькими типами возбуждения вместе с индукцией. Это тороидальное магнитное поле вызвано сферическими компонентами тока в ионосфере и динамо-возбуждением [Шуман, 2007].

Из асимптотической формулы Рытова:

$$i\omega\mu_0 H_n \approx \nabla_\tau (\zeta H_\tau)$$

для частного случая следует, что нормальная составляющая магнитного поля геомагнитных вариаций формируется как

$$i\omega\mu_0 H_n = H_\tau \operatorname{grad} \zeta,$$

т. е. нормальная компонента зависит от его тангенциальной компоненты и градиента скалярного импеданса ζ [Шуман, 2007].

В нашем случае, когда пользуются относительно небольшие периоды геомагнитных вариаций, источники токов которых формируются в приполярной области, можно применить соотношения (1), (2).

Геолого-геоэлектрический обзор. Для изучения глубинного строения района, где Кировоградская аномалия электропроводности [Рокитянский, 1975, с. 144—160] пересекает южный борт (Лохвицкий блок) и осевую (Полтавский блок) часть ДДВ, были проведены современные магнитотеллурические (МТ) и магнитовариационные (МВ) исследования вдоль профиля Несено-Иржавец—Абрамовка.

Геологически область представлена осадочными отложениями, мощность которых изменяется от 2 км в южной прибортовой зоне до 10 км в центральной части ДДВ (рис. 1). Кайнозойские и мезозойские осадочные отложения залегают несогласно на отложениях карбонового периода в южной бортовой зоне.

В центральной части ДДВ осадочные отложения кайнозоя и мезозоя достигают мощности 3 км, под ними несогласно залегают отложения краматорской (соленосной) свиты нижнего пермского (P_1) периода (мощностью 2—3 км) в восточной части профиля. Отложения карбона (С) мощностью до 6 км, которые подстилаются отложениями верхнего девона (D), прорываются диаширами (с глубины 8—10 до 2 км) евлано-ливенских (слабосоленосных) толщ верхнего девона (D_{3ev}) (рис. 1, 5, д).

Архей-раннепротерозойский (AR-PR₁) докембрийский фундамент под осадочной толщей является продолжением Ингульского и Среднеприднепровского мегаблоков УЩ. На стыке этих мегаблоков находится Ингулецко-Криворожская шовная зона, которая ограничена Западно-Ингулецким и Криворожско-Кременчугским разломами. Ингулецкий мегаблок представлен амфиболит-гранитовыми плутонометаморфическими и гнейсово-сланцевыми (метакарбонатно-терригенными) комплексами с междуповерхностными гранитогнейсовыми формациями. Среднеприднепровский мегаблок УЩ представлен амфиболит-гранитовым плутонометаморфическим комплексом (AR). Железисто-кремнисто-сланцевый комплекс [Тектонична ..., 2007] простирается вдоль межблокового Криворожско-Кременчугского разлома.

Значения суммарной продольной проводимости (S) в целом соответствуют мощности поверхностных отложений и изменяются вдоль профиля от 450 См в прибортовой зоне до более 1000 См в центральной части ДДВ [Геоэлектрическая ..., 1998].

Профиль исследований пересекает уникальную Кировоградскую аномалию элект-

ропроводности [Рокитянский, 1975; Баглаенко и др., 1989; Белявский и др., 2001; Геолого-геофизическая ..., 2006; Гордиенко и др., 2006]. Она представляет собой вытянутую с юга на северо-северо-восток структуру длиной почти 600 км, которая полностью перекрывает Ингулецко-Криворожскую шовную зону и восточную часть Ингульского мегаблока. Вся эта глубинная структура в пределах Ингулецко-Криворожской шовной зоны продолжается на северо-восток в сторону ДДВ и дальше на север.

Одни из последних исследований Кировоградской аномалии электропроводности, расположенные к югу от профиля Несено-Иржавец—Абрамовка, проводились вдоль профиля АМТЗ-2 (см. рис. 1), который имеет субширотное простирание и пересекает различные геологические структуры в зоне сочленения УЩ и ДДВ. По результатам одномерной инверсии на геоэлектрическом разрезе профиля АМТЗ-2 выделяется низкоомная Кировоградская аномалия, Ингулецко-Криворожской шовной зоне и Ингулецкому мегаблоку соответствуют значения электрического сопротивления 300—3000 Ом·м до глубины 8 км и 10—100 Ом·м для глубины от 8 до 30 км, Среднеприднепровскому мегаблоку — значения электрического сопротивления 1000—3000 Ом·м для глубины 0,5—5 км, которые увеличивается на глубине 30 км [Геолого-геофизическая ..., 2006].

По данным 2D моделирования вдоль оси центральной части ДДВ (см. рис. 1), на отрезке профиля от 200—400 км геоэлектрического разреза, который простирается под углом 20° к профилю Несено-Иржавец—Абрамовка, выделяется аномалия на границе осадочных и кристаллических пород ($\rho = 3 + 150$ Ом·м), верхняя кромка которой погружается с 6 до 10 км.

По результатам моделирования с помощью тонкого слоя определяются две аномалии со значениями проводимости более 6000 См и глубиной залегания верхней кромки 8 км, которые оконтуривают на востоке и западе Ингулецко-Криворожскую шовную зону [Гордиенко и др., 2006].

По результатам квазитрехмерного моделирования [Белявский и др., 2001] на пересечении ДДВ и Кировоградской аномалии для периода 150 с глубина залегания неоднородной S-пленки составляет около 10 км. Значения S отдельных локальных электропроводящих участков составляют на юго-западном склоне Воронежского массива от 1000 до 5000 См, на границе ДДВ и северо-восточном склоне УЩ — от 500 до 2000 См. Объект модели, образующий аномалию для периода 2000 с, залегает на глубине 25 км и имеет проводимость на севере от 100 до 1000 См.

По результатам трехмерного моделирования в работе [Геолого-геофизическая ..., 2006] район исследования характеризуется аномалией удельного электрического сопротивления ($\rho < 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) на глубинах 10—25 км и $\rho < 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ на 25—30 км.

Современные экспериментальные МТ и МВ исследования. Исследования по профилю Несено-Иржавец—Абрамовка являются продолжением изучения южного борта ДДВ, которое проводилось в Институте геофизики НАН Украины в 2013—2017 гг. [Кушнир и др., 2017]. Были синхронно зарегистрированы электромагнитные поля в 11 пунктах, находящихся на территориях Лохвицкого блока — Несено-Иржавец (NSN), Колодная (KLD), Хыльковка (HLK), Петровка—Лозы (PTR), Радывоновка (RDV), Цыкалы (CKL), Колотии (KLT) и Полтавского блока ДДВ — Пустовары (PST), Сапожино (SPG), Огиевка (OGV), Абрамовка (ABR) (см. рис. 1).

Экспериментальные измерения проводились длиннопериодными цифровыми станциями LEMI-417 с феррозондовыми магнитометрами, время наблюдения в полевых точках — 3 суток, на первой референтной точке NSN — 10 суток, расстояние между пунктами в среднем 15—20 км. Материалы такого уровня удовлетворяют требованиям к применению синхронной обработки, что позволяет эффективно корректировать локальные и региональные помехи между полевыми пунктами измерения.

Обработка экспериментальных материалов проводилась с помощью программы PRC_MTMV [Varentsov, 2007]. Надежно получены оценки типперов для периодов (T) геомагнитных вариаций от 30—3700 с [Kushnir et al., 2018] и параметров кажущегося удельного сопротивления (амплитудные значения ρ_k и фазы импеданса φ_z) от 40—10 000 с (см. рис. 4).

Анализ данных МВП. На всей протяженности профиля реальные компоненты (ReW) типперов во всем частотном диапазоне разворачиваются от зон повышенной электропроводимости, которой характеризуется не только поверхностная, но и глубинная структура ДДВ (см. рис. 1).

На западных точках профиля (NSN, KLD, HLK) ReW имеют южную ориентацию для $T = 20 \div 200$ с и величину 0,2—0,4 соответственно. Максимум частотной характеристики наблюдается на $T = 150 \div 450$ с. На периодах от 400 до 3756 с типперы постепенно разворачиваются на запад и их величины уменьшаются до значения меньше 0,3. По мере продвижения по профилю на восток (точки PTR, RDV, CKL, KLT) ReW на всех периодах имеют преимущественно южную ориентацию с небольшим отклонением на запад (PTR) и восток (CKL, KLT). Они увеличиваются от 0,2 на низких периодах до максимальных (0,4) на $300 < T < 800$ с, а затем снижаются до 0,3 на $T = 3700$ с. На пунктах PST, SPG, OGV, ABR в осевой зоне ДДВ типперы ReW на низких периодах (300 с) имеют самые низкие величины 0,1, увеличиваясь до 0,3—0,4 на $T = 500 \div 800$ с, ориентация южная с небольшим отклонением на восток с увеличением T . Таким образом, экспериментальные МВ наблюдения могут свидетельствовать о погружении проводника с приближением к осевой части ДДВ.

На периодах до 300 с в бортовой части и до 1300 с в осевой наблюдается коллинеарность ReW с мнимой компонентой (ImW) комплексного типпера. В среднем величина ImW в несколько раз меньше ReW [Kushnir et al., 2018], кроме низких $T < 30$ с, для пунктов всего профиля. ImW равна реальной компоненте или больше ее на $T <$

< 300 с в осевой части ДДВ (PST, SPG, OGV, ABR).

В бортовой зоне на пунктах NSN, KLD, HLK при $T > 300$ с компоненты $\text{Re}W$ и $\text{Im}W$ перпендикулярны, а мнимая компонента развернута на северо-запад, при $T > 1300$ с — на северо-восток, что, вероятно, соответствует трехмерной аномалии повышенной электропроводности к востоку от пунктов наблюдения. В восточной части профиля (PST, SPG, OGV, ABR) на $T > 1300$ с $\text{Im}W$ ориентирована к аномалии электропроводности на северо-запад. В центральной части профиля $\text{Im}W$ меньше 0,1.

Качественный анализ реальных и мнимых компонент комплексных типперов отражает присутствие поверхностного проводника, вытянутого с северо-запада на юго-восток, который связан с большой электропроводностью в осадочной толще, а также неоднородностью в глубинных горизонтах в средней части профиля (между пунктами PTR и PST), что соответствует Кировоградской аномалии электропроводности.

Обработка базового пункта NSN с помощью двух программных комплексов PRC_MTMV и PTS. Наблюдение пяти компонент электромагнитного поля в базовом пункте NSN (4956,5987 N, 03241,6898 E) проводилось в течении 10 суток. Такая длительность экспериментальной записи дала возможность использовать не только программный комплекс PRC_MTMV [Varentsov, 2007], но и PTS — программы, написанной авторским коллективом (Петрищевым М., Ткачевым А., Семеновым В.), с использованием новых формул расчета тензора кажущегося сопротивления [Semenov, 2000].

Комплексные индукционные стрелки реальные (C_u) и мнимые (C_v), полученные по программе PTS, в частотном диапазоне более 200 с по направлению соответствуют магнитовариационным параметрам ($\text{Re}W$ и $\text{Im}W$), посчитанным по программе PRC_MTMV. Величина типперов также совпадает в частотном диапазоне от 200 до 800 с. На больших T наблюдается различие только в величине типперов, посчитан-

ных по двум программным комплексам. На $800 < T < 2000$ с соотношение по величине между C_u и C_v резко (в 3—4 раза) изменяется, на $T > 2000$ с они становятся соизмеримы и равны 0,2 (рис. 2). Такое поведение комплексных типперов на больших T свидетельствует о сложной трехмерной глубинной концентрации теллурических токов.

Главные направления кривых ρ_k (PTS) выбраны по полярным диаграммам импедансных и адмитансных оценок. В зависимости от T форма полярной диаграммы основного Z_{xy} импеданса изменялась: кругообразная на $T = 240$ с, овальная на $T = 350$ с, форма "восьмерки" — во всем оставшемся диапазоне. Большая ось полярной диаграммы с отклонением $\pm 10^\circ$ была ориентирована с востока на запад, меньшая с теми же отклонениями — с севера на юг. В среднем максимальные значения Z_{xy} в 2,5 раза превышали значения дополнительного импеданса Z_{xx} . Только на $T > 10\,000$ с значения Z_{xx} становились соизмеримы со значениями Z_{xy} в случае импедансных оценок. Форма Z_{xx} во всем частотном диапазоне представлена четырехлепестковой диаграммой. Максимальные значения Z_{xy} соответствуют минимальным значениям Z_{xx} . Таким образом, импедансные диаграммы свидетельствуют в основном о двумерной структуре с поверхности и ее осложнении на глубинных горизонтах.

Кривые МТЗ в пункте NSN, полученные по двум программным комплексам (которые принципиально различаются), неплохо согласуются между собой (рис. 3). Их общий уровень во всем частотном диапазоне от 7 до 100 Ом · м, соотношение между кривыми ($\rho_{k_{xy}}$ — субмеридиональное, $\rho_{k_{yx}}$ — субширотное) по направлениям измерительных линий и форма сохраняются, уровень $\rho_{k_{yx}}$ в 3—4 раза выше $\rho_{k_{xy}}$. Однако кривые, посчитанные по программе PTS, находятся в интервале от 20 до 100 Ом · м и выходят на глобальные данные, в то время как кривые ρ_k , полученные по программе PRC_MTMV, имеют уровень от 7 до 40 Ом · м и лежат

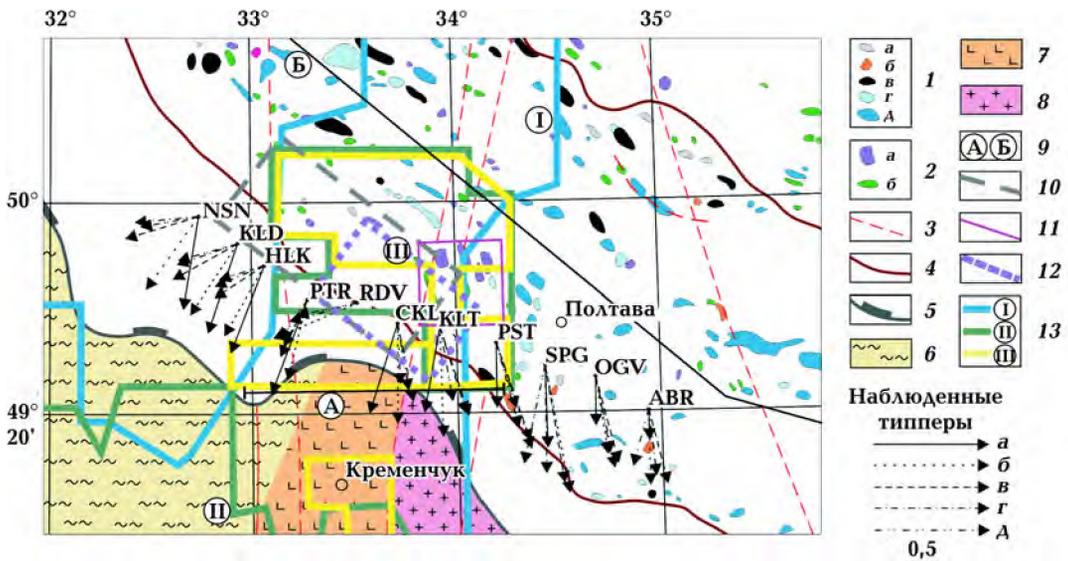


Рис. 1. Обзорная тектоническая карта (выкопировка [Атлас ..., 1984]) с расположением на ней пунктов МТ/МВ исследований: 1 — месторождения (а — нефтяные, б — нефтегазовые, в — нефтегазоконденсатные, г — газовые, д — газоконденсатные [Карта ..., 2009]); 2 — нефтегазовые объекты (а — подготовленные, б — выявленные [Карта ..., 2009]); 3 — разрывные нарушения; 4 — сброс, оконтуривающий центральную часть ДДВ; 5 — контур ДДВ; 6 — Ингульский мегаблок (ранне-протерозойского возраста); 7 — Ингулеcko-Криворожская шовная зона (архей-протерозойского возраста); 8 — Среднеднепровский мегаблок (средне-архейского возраста); 9 — профили (А — АМТЗ-2 [Геолого-геофизическая ..., 2006]; Б — вдоль центральной части ДДВ [Гордиенко и др., 2006]); 10 — прогнозная нефтегазоперспективная площадь № 2 в фундаменте ДДВ [Тектоника ..., 2015]; 11 — площадь № 3, перспективная на углеводороды [Шеремет и др., 2016, с. 62]; 12 — прогнозная нефтегазоперспективная площадь, выделенная по профилю Несено-Иржавец—Абрамовка; 13 — Кировоградская аномалия электропроводности с выделенными глубинными аномалиями удельного электрического сопротивления (менее 30 Ом · м) (I — глубина 25—30 км; II — 20—25 км; III — 10—20 км [Геолого-геофизическая ..., 2006]). Наблюдаемые типперы (ReW) для периодов геомагнитных вариаций: а — 150 с; б — 450 с; в — 1000 с; г — 2000 с; д — 3500 с.

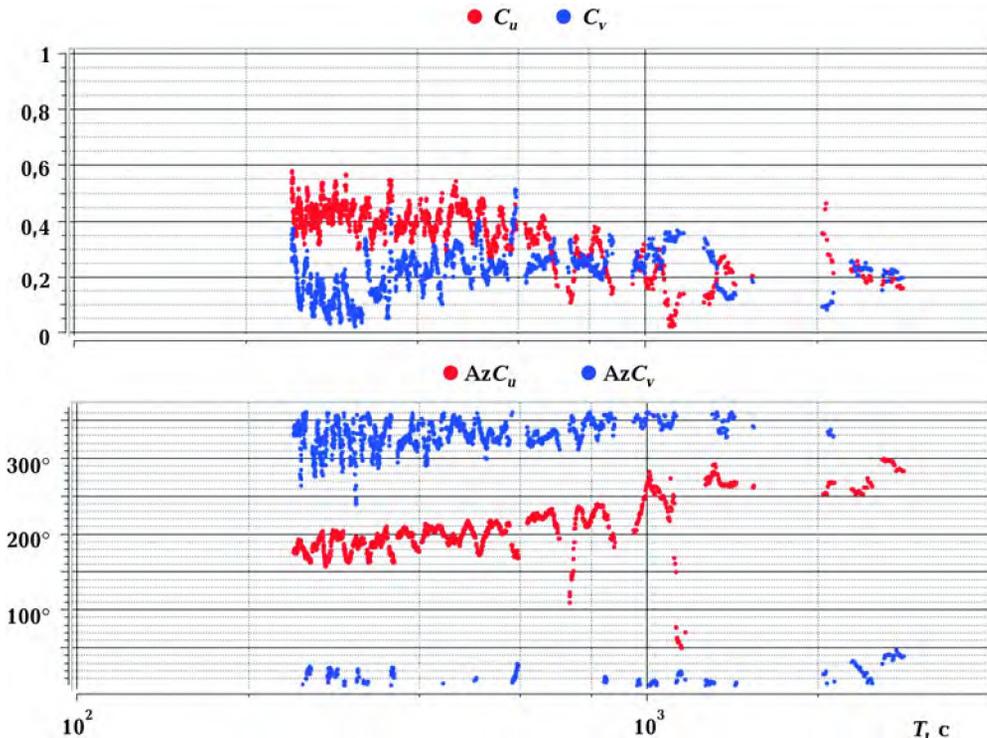


Рис. 2. Компоненты типпера C_u и C_v и их азимуты AzC_u и AzC_v (PTS).

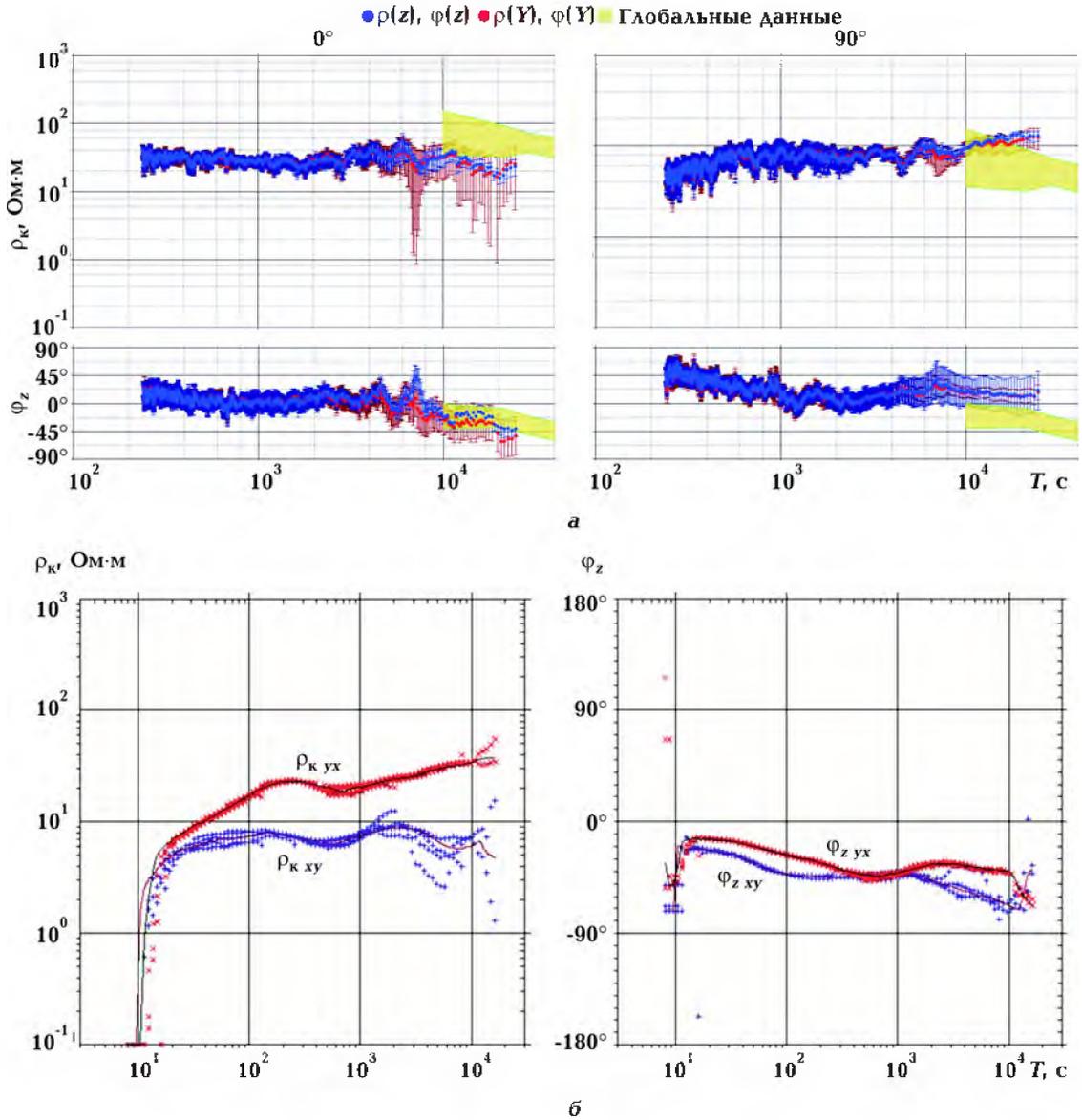


Рис. 3. Амплитудные кривые кажущегося сопротивления и фазы импеданса: а — программа PTS ($\rho(z), \varphi(z)$ — по импедансу, $\rho(Y), \varphi(Y)$ — по адмитансу); б — программа PRC_MTMV.

ниже глобальных данных. Минимумы на кривых ρ_k (PTS, PRC_MTMV) наблюдаются приблизительно в одном и том же частотном диапазоне, на $600 < T < 3000$ с (PTS) и $200 < T < 2000$ с (PRC_MTMV).

Форма кривых фаз импеданса φ_z , рассчитанная по программам PRC_MTMV и PTS, совпадает, однако уровень различается.

Фазовые кривые (PTS) (рис. 3, а) до 1000 с характеризуются положительными значениями, достигающими до $+45^\circ$, при этом диапазон ошибки их определения широк

и составляет около 45° . В интервале $600 < T < 1000$ и $2000 < T < 3000$ с наблюдается минимум φ_z от 0 до -25° (ошибка определения $\varphi_z = 20^\circ$). С увеличением T φ_z постепенно уменьшается до уровня глобальных данных.

Фазовые кривые (PRC_MTMV) (рис. 3, б) находятся в диапазоне от -20 до -75° , постепенно падая с увеличением T . На кривых имеется перегиб на T около 100 и 600 с в зависимости от поляризации электрического поля.

Фазы импеданса несут информацию об относительном изменении удельного электрического сопротивления среды. Над одномерным электрическим полупространством $\varphi_z = -45^\circ$.

Качественная интерпретация кривых МТЗ в пункте NSN предполагает наличие первого проводящего слоя с поверхности (S около 600 См) и второго (глубинного) или влияния со стороны глубинного проводника — с верхней кромки на 20—30 км ($S = 1000 \div 4000$ См).

Анализ данных МТЗ. Во всех остальных пунктах длительность проведенных наблюдений — не более 3 суток, что позволяет использовать для обработки только программный комплекс PRC_MTMV.

Кривые МТЗ (амплитудные и фазовые) (рис. 4) построены согласно направлениям измерительных линий (соответственно ось x ориентирована на север, а ось y — на восток). Левая часть кривых ρ_k в S интервале содержит информацию об интегральной электропроводности первого приповерхностного слоя и характеризуется восходящими ветвями с показателями S : 600 См (NSN), 500 См (KLD, HLK), 400 См (PTR), 350 См (RDV), 400 См (CKL), 350 См (KLT), в осевой зоне ДДЗ 2000 См (PST, SPG) 1800 См (OGV), 2000 См (ABR) (рис. 5, г).

В левой части профиля (меньше 40 км; пункты NSN, KLD, HLK) амплитудные кривые МТЗ характеризуются уровнем $\rho_{k,xy}$ от 4—20 (для $T = 40$ с) до 7—50 Ом·м (для $T = 10\,000$ с), слабо выраженной восходящей ветвью, наличием широкого минимума на $250 < T < 3000$ с (см. рис. 4). Кривые МТЗ для другой поляризации — уровнем $\rho_{k,yx}$ от 5—20 (для $T = 40$ с) до 500—800 Ом·м (для $T = 10\,000$ с), явно выраженной восходящей ветвью и минимумом на $400 < T < 2000$ с. Максимальное расхождение кривых для различных поляризаций наблюдается на T , которые соответствуют минимумам ρ_k и достигают почти одного порядка. В отличие от пункта NSN в пунктах KLD и HLK с увеличением T расхождение уменьшается, и кривые выходят на уровень глобальных данных.

Кривые ρ_k в пунктах PTR (50 км) и RDV (68 км) отличаются как друг от друга, так и от рядом стоящих кривых. Если в пункте PTR кривые для разных поляризаций практически идентичны: характеризуются восходящей ветвью (от 20 до 80 Ом·м), слабым минимумом (60 Ом·м) на $T = 1000$ с, выходят на уровень глобальных данных, то в пункте RDV кривые для разных поляризаций, хотя и сохраняют одинаковую форму, восходящую от 0,5—8 ($T = 40$ с) до 4—90 Ом·м ($T = 10\,000$ с), и наличие перегибов на $T \sim 1000$ с, расходятся почти на 2 порядка во всем частотном диапазоне (см. рис. 4). Такое поведение кривых, находящихся на расстоянии менее чем 20 км по профилю, уверенно свидетельствует о резко неоднородной геоэлектрической ситуации с поверхности и предположительно может характеризовать наличие проводящих объектов на глубине (около 15 км) в пункте RDV.

В пунктах SKL (85 км) и KLT (100 км) кривые МТЗ схожи между собой, характеризуются восходящей ветвью до $T < 100$ с, с увеличением T наблюдается расхождение кривых для различных поляризаций, достигающее более одного порядка на $T \sim 7000$ с, далее с увеличением T расхождение уменьшается и достигает уровня, приближенного к глобальным данным. Такое соотношение кривых для разных поляризаций свидетельствует о наличии явно выраженной аномалии электропроводности с верхней кромкой на 20—30 км.

К сожалению, невысокое качество экспериментального материала в пункте PST позволяет только приблизительно судить о распределении электропроводности. Можно с уверенностью характеризовать кривые МТЗ восходящей ветвью во всем диапазоне частот, слабым расхождением кривых для разных поляризаций, доходящих до 0,5 порядка, и тем, что кривые гальванически явно искажены и не выходят на уровень глобальных данных. Однако этот пункт, первый по профилю (120 км), попадает в область осевой части ДДВ и подвержен значительному влиянию хорошо проводящих поверхностных отложений.

Кривые МТЗ с последних по профилю трех пунктов SPG, OGV и ABR (140—200 км) похожи, характеризуются восходящей ветвью от единиц до 5—8 Ом · м для $\rho_{к,xy}$ и 60—80 Ом · м для $\rho_{к,yx}$. Если уровень кривых $\rho_{к,yx}$ увеличивается во всем частотном диапазоне, то на кривых $\rho_{к,xy}$ проявляется минимум на $T = 200—300$ с и расхождение между кривыми достигает практически одного порядка и сохраняется с увеличением T . Качественная интерпретация кривых предполагает наличие глубинного проводника с верхней кромкой от 10 до 50 км.

На коротких T (до 100 с) различие в уровне кривых для различных поляризаций теллурических токов незначительно и в среднем не превышает 2, $\rho_{к}$ соответствует изменению вдоль профиля S (рис. 5). При этом соотношение кривых для различных частей профиля (до и после 110 км) свидетельствует о различной ориентации течения теллурических токов.

Интерпретация кривых МТЗ позволила выделить на профиле три части (рис. 5, а—в). В первой (0—50 км) — пункты NSN, KLD, HLK, PTR — значение $\rho_{к}$ для различных направлений измерительных линий (направление кривой $\rho_{к,xy}$ — меридиональное, $\rho_{к,yx}$ — широтное) совпадает и находится в интервале от 10 до 100 Ом · м почти во всем частотном диапазоне. Во второй (50—110 км) — пункты RDV, SKL, KLT — значения $\rho_{к,xy}$ и $\rho_{к,yx}$ различаются на 1—1,5 порядков, $\rho_{к,xy}$ в среднем 1—10 Ом · м, в то время как $\rho_{к,yx} = 10 \div 100$ Ом · м, с увеличения T расхождение между кривыми для разных поляризаций уменьшается и они выходят практически на уровень глобальных данных. В третьей (110—190 км) — пункты PST, SPG, OGV, ABR — значения $\rho_{к}$ от 1 до 50 Ом · м увеличиваются с T . В $T > 100$ с различия между $\rho_{к,xy}$ и $\rho_{к,yx}$ увеличиваются с одного до двух порядков.

Сопоставление поведения данных S и $\rho_{к}$ для различных T свидетельствует о наличии глубинной аномалии электропроводности в средней части профиля и предусматривает аналогичную в восточной. Результаты качественной интерпретации

кривых МТЗ показали, что минимальные глубины залегания верхней кромки проводника изменяются от 20—30 км на юго-западе в прибортовой зоне до максимальных значений 50 км в осевой части ДДВ.

Очень редко между $\rho_{к}$ и фазой импеданса сохраняется устойчивая корреляция. В книге [Бердичевский, Дмитриев, 2009] отмечается, что это остается одной из главных загадок магнитотеллурики, физический смысл которой непонятен. Фаза импеданса связана преобразованием Гильберта с $\rho_{к}$, но когда наблюдается несоответствие между ними, это объясняется помехами или плохой обработкой данных. Приведено огромное количество модельных расчетов, которые подтверждают это несоответствие. Например, над региональной квазидвумерной структурой трехмерные приповерхностные неоднородности образуют геоэлектрический шум, а рассчитанные амплитудные и фазовые кривые не соответствуют друг другу.

Фаза импеданса изменяется в широких пределах от -5° до более -50° на коротких T и от -30° до -120° на длинных (рис. 6). Различие фаз импедансов для различных поляризаций в среднем достигает $10—30^\circ$. На $T = 40$ с в значениях менее -45° четко проявляется восточная часть профиля (более 120 км), которая соответствует высокой проводимости осадочных отложений осевой части ДДВ. На $T = 6800$ с фазы импеданса слабо реагируют на проводимость поверхностных отложений вдоль профиля. Как и по профильным графикам $\rho_{к}$, можно выделить три зоны: от 0 до 50 км — ϕ_z в среднем -60° и слабо различается для импедансов, рассчитанных для различных поляризаций; 50—110 км — существенное различие в значениях фаз импедансов для различных поляризаций, которые достигают своего максимума на отметке 100 км (KLT) и составляют более 60° ; 110—190 км — фазы находятся в интервале от -30° до -50° , расхождение между ними составляет от 15° до 20° .

Качественная интерпретация фаз импеданса предполагает наличие в централь-

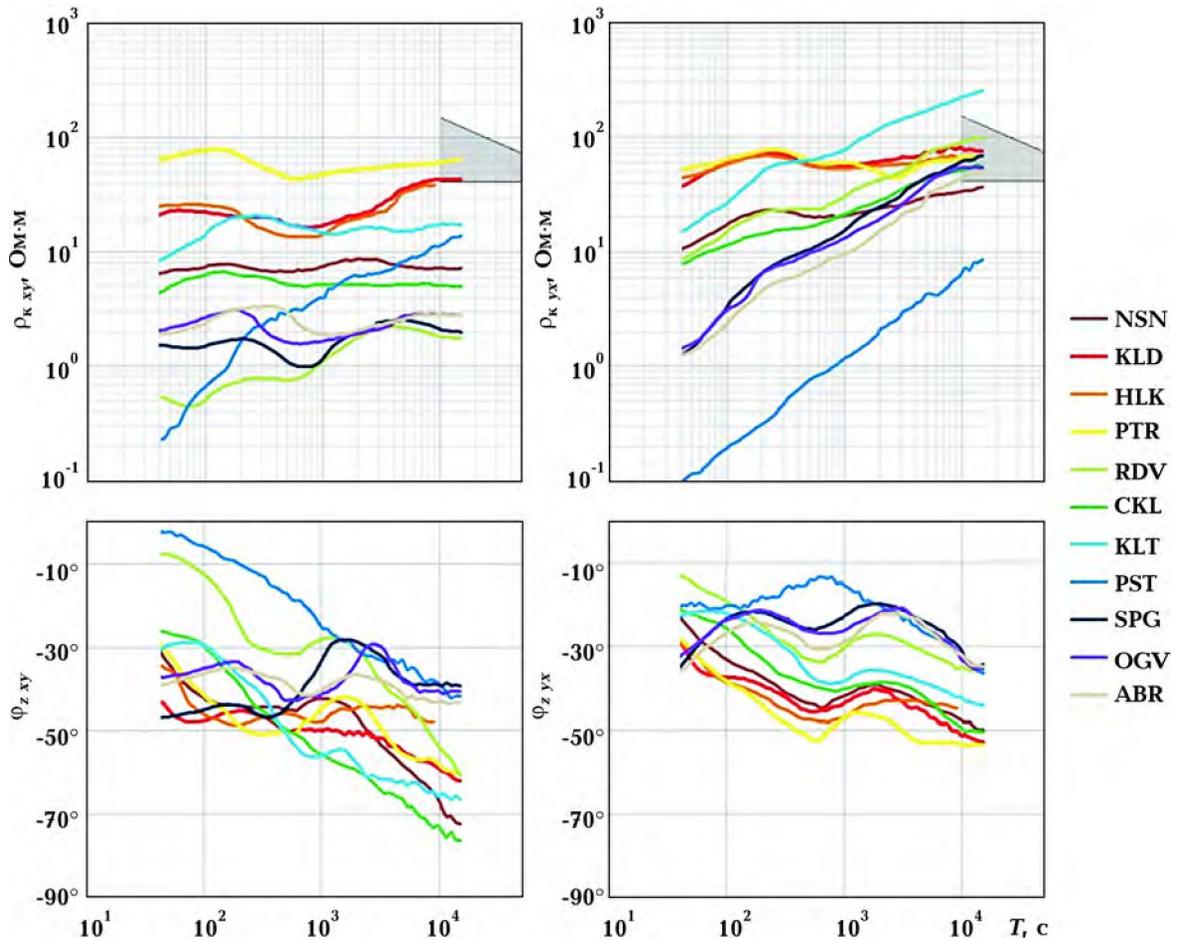


Рис. 4. Кривые кажущегося сопротивления (ρ_k) и фазы импеданса (φ_z) для меридиональных (xy) и широтных (yx) направлений измерительных линий.

ной части профиля глубинного проводника, который может быть вызван Кировоградской аномалией электропроводности.

Таким образом, совместная интерпретация амплитудных кривых кажущегося сопротивления и фаз импеданса указывает на наличие глубинного проводника в интервале профиля от 50 до 110 км, а аномальное поведение кривых в западной части профиля, скорее всего, может быть вызвано влиянием Кировоградской аномалии. В восточной части поведение кривых полностью определяется еще и поверхностной проводимостью осадков ДДВ.

Качественная интерпретация экспериментальных МТ/МВ данных позволила выделить перспективную на нефтегазоносность площадь в районе южного сброса, оконтуривающего центральную часть ДДВ

между населенными пунктами Хорол и Решетилровка (см. рис. 1).

Обсуждение результатов и выводы. В 2014 г. в докладе на общем собрании НАН Украины академик А. Е. Лукин основное внимание уделил углеводородному потенциалу больших глубин и перспективам его освоения в Украине [Лукин, 2014]. Он утверждал, что в центральном (Полтавском) сегменте ДДВ, расположенном над апикальной частью Днепровско-Донецкого суперплюма, сосредоточены основные разведанные запасы и основные прогнозные ресурсы нижнего карбона.

В работе [Тектоника ..., 2015] выделены прогнозные нефтегазовые площади кристаллического фундамента ДДВ по комплексу геолого-геофизических методов. Профиль Несено-Иржавец—Абрамовка пере-

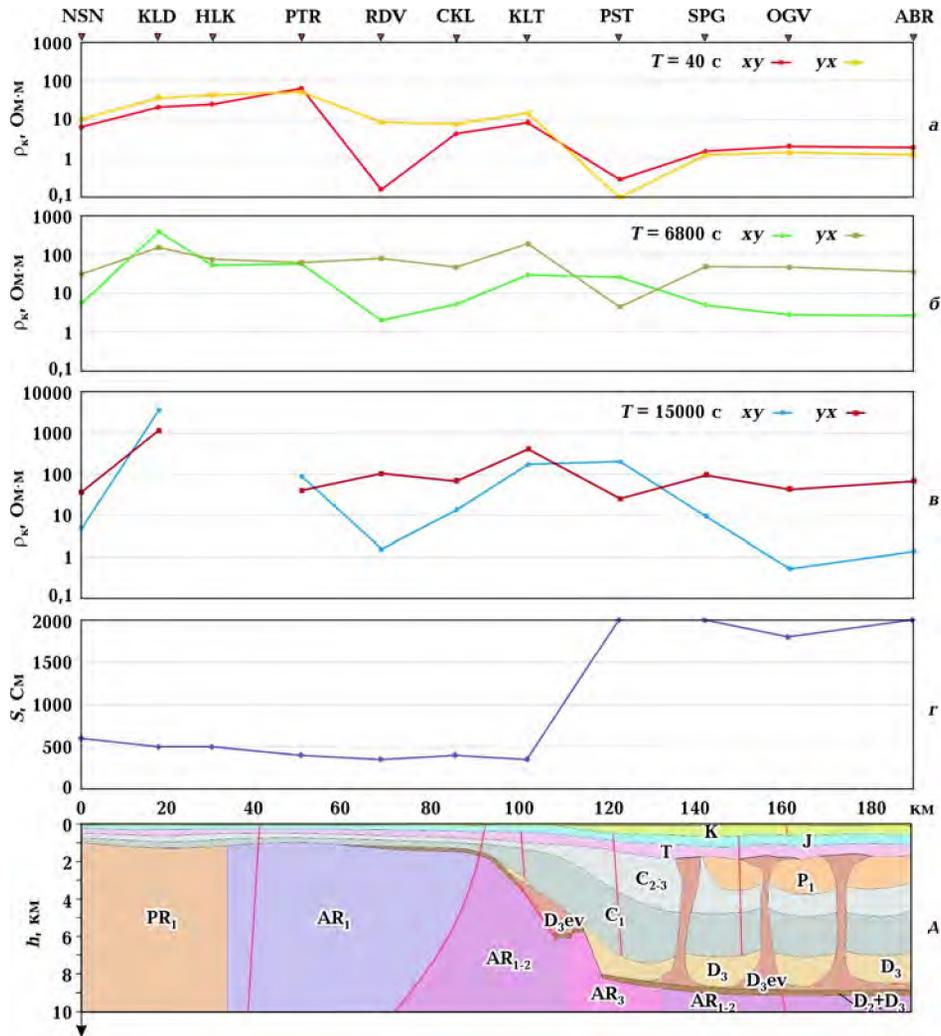


Рис. 5. Профильные графики ρ_k для периодов 40 с (а); 6800 с (б); 15 000 с (в); г — график значений суммарной продольной проводимости (S); д — схематический геологический разрез (периоды мезозойской эры: К — меловый, J — юрский, Т — триасовый; периоды палеозойской эры: P_1 — нижний пермский, C_1 C_{2-3} — нижний, средний и верхний каменноугольный, D_2 D_3 — средний и верхний девонский, $D_{3^{ev}}$ — евлано-ливенская (слабосоленосная) толща верхнего девона; PR_1 — ранняя протерозойская эра; AR_1 — ранняя архейская эра) [Тектонічна ..., 2007].

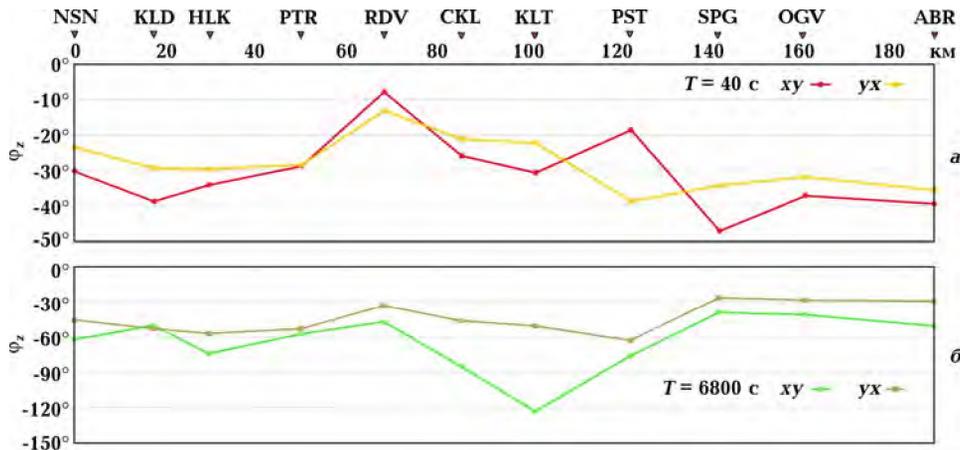


Рис. 6. Профильные графики фазы импеданса (φ_z) для периодов: а — 40 с, б — 6800 с.

секает юго-восточную часть прогнозной площади № 2 (см. рис. 1), которая характеризуется наличием коромантийной смеси мощностью 2—5 км, что свойственно нефтяным и нефтеконденсатным месторождениям, а также раздробленностью и разуплотнением в кристаллическом фундаменте и консолидированной коре на глубинах 20—30 км, что обусловлено крупным узлом пересечения зон разломов различных систем.

В монографии [Шеремет и др., 2016, с. 62, 116] в центральной части ДДВ геоэлектрические исследования по профилю "Георифт" Полтава—Чернигов на глубине 10—35 км выделяется низкоомная аномалия под нефтяными месторождениями и цепочкой соляных куполов, а на глубине до 6 км отмечены три перспективные площади, которые отождествляются с нефтегазовыми залежами.

По проведенному анализу экспериментальных данных МТЗ и МВП выделена аномальная область на глубине 20—30 км, где Кировоградская аномалия электропроводности пересекает южный борт (Лохвицкий блок) и осевую (Полтавский блок) часть ДДВ, и подтверждены перспективные прогнозные нефтегазоносные площади [Тектоника ..., 2015; Шеремет и др., 2016, с. 62, 116]. Глубинные аномалии электропроводности могут быть объяснены проникновением флюидов из коры и мантии и служить источником всех последующих процессов формирования нефтегазовых месторождений.

Природа аномалии электропроводности, с одной стороны, может быть связана с трещиноватыми породами, по которым мигрируют флюиды и образуются месторождения углеводородов [Тектоника ..., 2015], с другой стороны, может быть результатом "углеводородного дыхания Земли" [Летников, 2002; Тимурзиев, 2015; Шеремет и др., 2016, с. 116]. В этих работах предполагается, что жидкие и газообразные углеводороды в осадочную толщу поставляются из корневого проводника графитовой природы, залегающего в кристаллическом фундаменте. Его пространственное положение совпадает со скоплениями нефти в перекрывающем осадочном чехле.

Одна из структур УЩ, с которой связано пространственное расположение графитовых областей и районов в породах фундамента [Яценко, 1998], — Криворожско-Кривенькая разломная зона, проявленная в геомагнитных вариациях Кировоградской аномалии. В работе [Бурахович, Кулик, 1999] сформулированы представления о ее флюидно-графитовой природе.

Согласно результатам 3D геоэлектрического моделирования [Геолого-геофизическая ..., 2006], именно на этих глубинах найдены аномальные структуры, которые подтверждаются новыми экспериментальными МТ/МВ наблюдениями. Кроме того, новые экспериментальные данные позволили подтвердить и детализировать ранее выделенные нефтегазоносные участки, а именно прогнозную нефтегазоперспективную площадь № 2 в фундаменте ДДВ. Аномалия связана с ее юго-восточной частью и протягивается на юго-восток на 20 км. Профиль исследований проходит за пределами южной границы северо-западной части прогнозной площади № 2. На экспериментальных данных есть информация о существовании глубинного проводника, но его наличие и параметры можно получить только в результате последующего геоэлектрического моделирования. Информацию о существовании проводника, выделенного по результатам МТЗ [Шеремет и др., 2016, с. 62] на глубине 10—35 км, и о предполагаемом по новым данным погружении верхней кромки проводника до 20—30 км в юго-западном направлении также можно подтвердить только трехмерным геоэлектрическим моделированием. Выделенная в данной статье аномальная область частично совпадает с перспективной площадью № 3 (см. рис. 1) [Шеремет и др., 2016, с. 62].

Таким образом, изучение электромагнитных параметров и природы аномалий электропроводности в недрах Земли позволяет, во-первых, определить следы прохождения глубинных процессов, а во-вторых, наметить взаимодействие различных глубинных горизонтов и выявить перспективные на нефтегазоносность участки земной коры.

Список литературы

- Атлас геологического строения Днепровско-Донецкой впадины. Обзорная тектоническая карта юго-западной части Восточно-Европейской платформы. Ред. Ю.А. Арсирый, В.А. Витенко, А.М. Палий, Ф.К. Цышко. Киев: Изд. Министерства геологии УССР, 1984.
- Баглаенко Н.В., Варенцов И.М., Гордиенко В.В., Жданок М.С., Кулик С.Н., Логвинов И.М. Геоэлектрическая модель Кировоградской аномалии по геомагнитным данным. Москва, 1989. 27 с. (Препр./ИЗМИРАН; № 28 (854)).
- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. Москва: Научный мир, 2009. 680 с.
- Белявский В.В., Бурахович Т.К., Кулик С.Н., Сухов В.В. Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Знання України, 2001. 130 с.
- Бурахович Т.К., Кулик С.Н. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель Кировоградской аномалии электропроводности. *Геофиз. журн.* 1999. Т. 21. № 2. С. 120—125.
- Геоэлектрическая модель тектоносферы Евразийского складчатого пояса и сопредельных территорий. Ред. В.В. Белявский, С.Н. Кулик. Киев: Знання, 1998. 264 с.
- Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчуцкой шовной зоны Украинского щита. Ред. А.В. Анциферов). Киев: Наук. думка, 2006. 186 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковальчикова С., Логвинов И.М., Пек Й., Тарасов В.Н., Усенко О.В. Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы). Киев: Корвін пресс, 2006. 143 с.
- Губин И.А. Выделение геологических неоднородностей по данным метода МТЗ. *Записки Горного института.* 2008. Т. 176. С. 168—171.
- Дмитриев В.И., Яковлев А.Г., Голубцова Н.С., Пушкарев П.Ю., Куликов В.А., Хмелевской В.К., Шустов Н.Л. Магнитотеллурический метод и научная школа геофизиков: *Сборник трудов Научной конференции, посвященной 70-летию кафедры геофизики в Московском университете "Геофизика в МГУ. Вчера. Сегодня. Завтра. 1944—2014"*. Москва: Сампринт, 2014. С. 80—98.
- Карта структур східного нафтогазоносного регіону України за станом на 1.01.2009. Львів: Вид. УкрДГРІ, 2009.
- Кисмерешкин В.П., Коржубаев А.Г., Сысов Б.К. Метод магнитотеллурического зондирования для прогноза нефтегазоперспективных зон и определения залежей углеводородов в малоразмерных структурах. *Нефтяное хозяйство.* 2009. № 9. С. 22—25.
- Кушнир А.Н., Бурахович Т.К., Ширков Б.И., Джаошвили В.Б. Электромагнитные исследования северного склона центральной части Украинского щита. *Доп. НАН України.* 2017. № 10 С. 60—69. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.10.060>.
- Летников Ф.А. Дегазация земли как глобальный процесс самоорганизации: *Материалы Международной конференции памяти академика П.Н. Кропоткина "Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ"*, Москва, 20—24 мая 2002 г. Москва: ГЕОС, 2002. С. 6—7.
- Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза. *Геология рудных месторождений.* 2001. Т. 43. № 4. С. 291—307.
- Лукин А.Е. Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине. *Вісник НАН України.* 2014. № 5. С. 31—36.
- Метод МТЗ, 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nw-geo.ru/geophysics/tech/amt/>.

- МТЗ в Прикаспийской впадине, 2005. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nw-geo.ru/geophysics/oil-and-gas/caspian/>.
- МТЗ в Болгарии, 2004. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nw-geo.ru/geophysics/oil-and-gas/bulgary/>.
- Нефтегазопоисковые работы в Боливии, 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nw-geo.ru/geophysics/oil-and-gas/нефтегазопоисковые-работы-в-боливии/>.
- Рокитянский И. И. Исследование аномалий электропроводимости методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наук. думка, 1975. 278 с.
- Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины. Ред. В. И. Старостенко, О. М. Русаков. Киев: Галактика, 2015. 211 с.
- Тектонічна карта України. Ред. Д. С. Гурський. Київ: Державна геологічна служба, 2007.
- Тимурзиев А. И. Мантийные очаги генерации углеводородов: геолого-геофизические признаки и прогнозно-поисковые критерии картирования; закономерности нефтегазоносности недр как отражение разгрузки в земной коре мантийных УВ-систем. *Тектоніка і стратиграфія*. 2015. Т. 42. С. 114—159.
- Тригубович Г. М. Электромагнитная разведка флюидонасыщенных коллекторов: результаты и ближайшие перспективы: *Материалы VI Всероссийской школы-семинара имени М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна по Электромагнитным зондированиям Земли — ЭМЗ-2013* [Электронное издание]. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. Режим доступа: http://emf.ru/ems2013/presentations/Тригубович_лекция.pdf.
- Шеремет Е. М., Бурахович Т. К., Дудик А. М., Николаев И. Ю., Дудик С. А., Кушнир А. Н., Ширков Б. И., Сетая Л. Д., Агаркова Н. Г. Геоэлектрические и геохимические исследования при прогнозировании углеводородов в Украине. Киев: Компринт, 2016. 489 с.
- Шуман В. Н., Савин М. Г. Математические модели геоэлектрики. Киев: Наук. думка, 2011. 238 с.
- Шуман В. Н. Прикладная геоэлектродинамика и магнитотеллурический эксперимент. *Геофиз. журн.* 2007. Т. 29. № 1. С. 22—44.
- Эпов М. И., Антонов Е. Ю., Неведрова Н. Н., Оленченко В. В., Поспеева Е. В., Напреев Д. В., Санчаа А. М., Потапов В. В., Плотников А. Е. Комплекс электромагнитных и геохимических методов для нефтепоисковых исследований в Западной Сибири. *Геология и геофизика*. 2014. Т. 55. № 5-6. С. 962—977.
- Яценко В. Г. Закономерности пространственного расположения проявлений графита на Украинском щите. Аспекты минералогии Украины. Киев: ГНЦ РОС, 1998. С. 254—270.
- Kushnir, A. M., Burakhovych, T. K., Pyenko, V. A., & Dzhaoshvili, V. B. (2018). Electromagnetic studies of the central part of the southern Dnieper-Donets Basin slope: *XVIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, Kiev, May 14—17, 2018.
- Kulik, S. N. (2004). High conductivity anomalies in the Continental Earth's Crust. In *Proceeding of the Institute of fundamental studies* (pp. 14—21). Kiev: Logos.
- Semenov, V. Yu. (2000). On the apparent resistivity in magnetotelluric sounding. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 36 (1), 99—100.
- Varentsov, Iv. M. (2007). Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis. In V. Spichak (Ed.), *EM sounding of the Earth's interior* (Series: Methods in geochemistry and geophysics, Vol. 40, pp. 263—277). New York: Elsevier.

Geoelectric studies of the oil and gas bearing area on the southern slope of the central part of the Dnieper-Donets Basin

T. K. Burakhovich, A. M. Kushnir, V. A. Ilyenko, 2018

In 2017 modern synchronous magnetotelluric and magnetovariational investigations were carried out on the Nesseno-Irzhuzets—Abramovka profiles in eleven points for the study of the deep structure of the central part of the southern Dnipro-Donets Basin (DDB) board, where the Kirovograd electrical conduction anomaly crosses the Lokhvytsky and Poltava blocks of the DDB. The processing of experimental materials was carried out using known programs PRC_MTMV and PTS. Reliable estimates of the types for periods of geomagnetic variations from 30 to 3700 s and parameters of apparent electrical resistance (amplitude values and phase of impedance) from 40 to 10 000 s are obtained. A joint analysis of complex types and curves of apparent electrical resistance and impedance phases indicates the presence of a surface conductor. Which extends from northwest to south-east and associated with superficial conductivity of the sedimentary strata of the DDB. Also spatially detailed heterogeneity, which is assumed in deep horizons with an upper edge of 20—30 km in the middle part of the profile and corresponds to Kirovograd electrical conduction anomaly. The qualitative interpretation of experimental MT/MV data allows us to clarify the perspective on the oil and gas bearing area in the area of the southern side, which outlines the central part of the DDB between the settlements of Khorol and Reshetilivka. In addition, confirm and detail previously allocated oil and gas prospecting sites, namely Glydinintziv, with which the anomaly is connected in its southeastern part and extend to the southeast by 20 km. Information about the existence of a deep conductor and its parameters should be the basis for quantitative interpretation and construction of 3D deep geoelectric model.

Key words: southern side of the Dnieper-Donets Basin, Kirovograd electroconductivity anomaly, MT/MV methods, oil and gas prospecting area.

References

- Arsiriy, Yu. A., Vitenko, V. A., Paliy, A. M., & Tsytko, F. K. (Eds). (1984). *Atlas of the geological structure of the Dnieper-Donets basin. A survey tectonic map of the southwestern part of the East European Platform*. Kiev: Ministry of Geology of the USSR (in Russian).
- Baglaenko, N. V., Varentsov, I. M., Gordienko, V. V., Zhdanov, M. S., Kulik, S. N., & Logvinov, I. M. (1989). Geoelectric model Kirovograd geomagnetic anomalies on data. Working paper 28 (854). Moscow: IZMIRAN (in Russian).
- Berdichevskiy, M. N., & Dmitriev, V. I. (2009). *Models and Methods of Magnetotellurics*. Moscow: Nauchnyy Mir (in Russian).
- Belyavskiyá V. V., Burakhovych, T. K., Kulik, S. N., & Sukhov, V. V. (2001). *Electromagnetic methods in the study of the Ukrainian Shield and the Dnipro-Donetsk Basin*. Kiev: Znannya Ukrayiny (in Russian).
- Burakhovych, T. K., & Kulik, S. N. (1999). Quasi-three-dimensional geoelectric model of the Kirovograd electroconductivity anomaly. *Geofizicheskiy zhurnal*, 21 (2), 120—125 (in Russian).
- Belyavskiy, V. V., & Kulik, S. N. (Eds). (1998). *Geoelectric model of the tectonosphere of the Eurasian folded belt and contiguous territories*. Kiev: Znannya (in Russian).
- Antsiferov, A. V. (Eds). (2006). *Geological and geophysical model of the Krivoy Rog Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).

- Gordienko, V. V., Gordienko, I. V., Zavgorodnyaya, O. V., Kovachikova, S., Logvinov, I. M., Tarasov, V. N., & Usenko, O. V. (2006). *Dnieper-Donets Basin (geophysics, deep processes)*. Kiev: Korvin press (in Russian).
- Gubin, I. A. (2008). Isolation of geological heterogeneities according to the MTZ method data. *Zapiski Gornogo instituta*, 176, 168—171 (in Russian).
- Dmitriev, V. I., Yakovlev, A. G., Golubtsova, N. S., Pushkarev, P. Yu., Kulikov, V. A., Khmelevskoy, V. K., & Shustov, N. L. (2014). Magnetotelluric method and the scientific school of geophysicists: *Proceeding Scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the Department of Geophysics at Moscow University "Geophysics in Moscow State University. Yesterday. Today. Tomorrow. 1944—2014"* (pp. 80—98). Moscow: Samprint (in Russian).
- Map of the structures of the eastern oil and gas region of Ukraine as of 01.01.2009. (2009). Lviv: UkrDGRI (in Ukrainian).
- Kismereshkin, V. P., Korzhubaev, A. G., Sysoyev, B. K., 2009. Magnetotelluric sounding method for the forecast of oil-and-gas promising zones and determination of hydrocarbon accumulations in low-sized structures. *Neftyanoye khozyaystvo*, (9), 22—25 (in Russian).
- Kushnir, A. M., Burakhovych, T. K., Shyrkov, B. I., Dzhaoshvili, V. B. (2017). Electromagnetic studies of the northern slope of the central part of the Ukrainian Shield. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (10), 60—69. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.10.060> (in Russian).
- Letnikov, F. A. (2002). Degassing the Earth as a global process of self-organization: *Proceedings of the International Conference in memory of Academician P. N. Kropotkina "Degassing of the Earth: geodynamics, geofluids, oil and gas"*, Moscow, May 20—24, 2002 (pp. 6—7). Moscow: GEOS (in Russian).
- Letnikov, F. A. (2001). High-depth fluid earth systems and problems of ore formation. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 43(4), 291—307 (in Russian).
- Lukin, A. E. (2014). Hydrocarbon potential of large depths and prospects for its development in Ukraine. *Visnyk NAN Ukrainy*, (5), 31—36 (in Russian).
- MTZ method. (2017). Retrieved from <http://nw-geo.ru/geophysics/tech/amt/> (in Russian).
- MTZ in the Caspian Basin. (2005). Retrieved from <http://nw-geo.ru/geophysics/oil-and-gas/caspian/> (in Russian).
- MTZ in Bulgaria. (2004). Retrieved from <http://nw-geo.ru/geophysics/oil-and-gas/bulgary/> (in Russian).
- Oil and gas prospecting in Bolivia. (2017). Retrieved from <http://nw-geo.ru/geophysics/oil-and-gas/нефтегазопроисковые-работы-в-болливии/> (in Russian).
- Rokityansky, I. I. (1975). *Study of the anomalies of electrical conductivity by the method of magnetovariational profiling*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Starostenko, V. I., & Rusakov, O. M. (Eds). (2015). *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donets Basin*. Kiev: Galaktika (in Russian).
- Hurskyy, D. S. (Ed.). (2007). *Tectonic map of Ukraine*. Kyiv: State Geological Survey (in Ukrainian).
- Timurziev, A. I. (2015). Mantle sources of generation of hydrocarbons: geology-physical signs and forecastsearching criterions of mapping; regularity of an oil-and-gas-bearing capacity as unloading reflex of mantle hydrocarbon-systems in the crust of the Earth. *Tektonika i stratyografiya*, 42, 114—159 (in Russian).
- Trigubovich, G. M. (2013). Electromagnetic exploration of fluid-saturated reservoirs: results and immediate prospects: *Proceedings of the VI All-Russian School of the M. N. Berdichevskiy and L. L. Vanyan on Electromagnetic sounding of the Earth — EMZ-2013*. Novosibirsk: INGG SB RAS. Retrieved from http://emf.ru/ems2013/presentations/Тригубович_лекция.pdf (in Russian).
- Sheremet, E. M., Burakhovich, T. K., Dudik, A. M., Nikolaev, I. Y., Dudik, S. A., Kushnir, A. N., ... Agarkova, N. G. (2016). *Geoelectric, geochemical research and forecasting in hydrocarbons in Ukraine*. Kiev: Comprint (in Russian).

- Shuman, V.N., & Savin, M.G. (2011). *Mathematical models of geoelectrics*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Shuman, V.N. (2007). Applied geoelectrodynamics and magnetotelluric experiment. *Geofizicheskiy zhurnal*, 29 (1), 22—44 (in Russian).
- Epov, M.I., Antonov, E.Yu., Nevedrova, N.N., Olenchenko, V.V., Pospeeva, E.V., Napreev, D.V., ... Plotnikov, A.E. (2014). Integrated electromagnetic and geochemical surveys for petroleum exploration in West Siberia. *Geologiya i geofizika*, 55(5-6), 962—977 (in Russian).
- Yatsenko, V.G. (1998). *Regularities of the spatial arrangement of graphite manifestations on the Ukrainian Shield. Aspects of mineralogy in Ukraine* (pp. 254—270). Kiev: GNC ROS (in Russian).
- Kushnir, A.M., Burakhovych, T.K., Ilyenko, V.A., & Dzhaoshvili, V.B. (2018). Electromagnetic studies of the central part of the southern Dnieper-Donets Basin slope: *XVIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, Kiev, May 14—17, 2018.
- Kulik, S.N. (2004). High conductivity anomalies in the Continental Earth's Crust. In *Proceeding of the Institute of fundamental studies* (pp. 14—21). Kiev: Logos.
- Semenov, V.Yu. (2000). On the apparent resistivity in magnetotelluric sounding. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 36(1), 99—100.
- Varentsov, Iv.M. (2007). Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis. In V. Spichak (Ed.), *EM sounding of the Earth's interior* (Series: Methods in geochemistry and geophysics, Vol. 40, pp. 263—277). New York: Elsevier.