

В.И. Старостенко¹, **А.Е. Лукин**²,
О.М. Русаков¹, **И.К. Пашкевич**¹, **Т.В. Лебедь**¹

¹ Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

² Институт геологических наук НАН Украины, Киев

УГЛЕВОДОРОДНЫЙ СКВОЗЬФОРМАЦИОННЫЙ ФЛЮИДОПОДВОДЯЩИЙ КАНАЛ НА СЕВЕРО- ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ТРЕХМЕРНОГО МАГНИТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

По данным трехмерного магнитного моделирования выделен канал вертикальной миграции глубинных метаносодержащих флюидов в узле пересечения глубинных разломов на северо-западном шельфе Черного моря. В пределах контура этого канала расположены Архангельское и Крымское газовые месторождения, Штормовое газоконденсатное месторождение, а также Штилевая, Федоровская, Центральная, Прибойная, КП-33 и Шельфовая структуры. Показано, что наиболее благоприятными объектами для скоплений углеводородов является верхняя часть магнитного тела в разуплотненной консолидированной коре и структуры осадочного чехла, локализованные над ним.

Ключевые слова: глубинная дегазация, трехмерное магнитное моделирование, газоносность, Черное море.

Отсутствие теории нафтидогенеза — парадигмы современной нефтегазовой геологии и геофизики — становится существенным тормозом при освоении колоссальных углеводородных ресурсов сложнопостроенных суперглубоких нефтегазоносных бассейнов. Ярким примером в этом отношении является Черноморская мегавпадина, начиная с позднего мела наложенная на совокупность различных (от платформенных до складчато-орогенных) бассейнов и их фрагментов (геоблоков). Этот тектонический коллаж сформировался вследствие геодинамического взаимодействия Восточноевропейской, Скифской, Мизийской плит и складчато-орогенных сооружений [напр. 40, 41, 45], что обусловило формирование единого нефтегазоносного мегабассейна, степень освоения колоссальных углеводородных ресурсов которого незначительна.

Опыт многолетних геологоразведочных работ на различных участках черноморского шельфа с открытием ряда зон преимуще-

ственно нефте- и газонакопления свидетельствует, с одной стороны, о больших перспективах нефтегазоносности (широта стратиграфического, структурно-тектонического, литологического и фазово-геохимического диапазонов, морфогенетическое разнообразие типов ловушек и залежей), а с другой — о несостоятельности биогенно-осадочно-миграционной теории — парадигмы современной нефтегазовой геологии.

Современные геолого-геофизические и геохимические данные по различным нефтегазоносным бассейнам Мира свидетельствуют о том, что главным фактором формирования нефтяных и газовых месторождений являются не геологически длительные катагенетические процессы «капельной» первичной миграции при тектоническом погружении обогащенных биогенной органикой осадочных толщ, а глубинная дегазация Земли, в том числе современная [2, 14, 16, 26].

Черное море, как известно, представляет собой уникальную системную гидрологическую, биотическую и биогеохимическую мегааномалию, которая определяется совокупностью тектоно-геодинамических, геофизических и геохимических факторов [17]. Тесное переплетение водно-углекислой и углеводородной ветвей дегазации, большой геотермобарический диапазон флюидного режима обуславливают ведущую роль указанных процессов в формировании как ловушек (природных резервуаров), так и заполняющих их углеводородных залежей. Благодаря этому, приуроченные к сквозьформационным флюидопроводящим системам трубы дегазации представляют собой парагенетические пространственно-временные системы ловушек (залежей). Последние, наряду с пластовыми, включают в себя крупные массивные залежи, приуроченные к разуплотненным массивам пород кристаллического фундамента и промежуточного комплекса, черносланцевых и рифогенно-карбонатных формаций осадочного чехла [18]. Именно на опоскование таких систем должны быть направлены поиски нефтяных и газовых месторождений в Черном море, поскольку в силу известных причин здесь экономически рентабельны поиски, разведка и разработка только значительных по запасам месторождений с крупными массивными, массивно-пластовыми и многопластовыми залежами.

Таким образом, картирование труб дегазации по комплексу геофизических и геохимических аномалий приобретает здесь особое значение. Это в полной мере относится не только к Черноморскому нефтегазоносному мегабассейну в целом, но и к его отдельным сегментам, поскольку его плюмтектоническая природа в сочетании с коллажным характером создают благоприятные условия для возникновения труб дегазации различных размеров, морфологии и флюидодинамической активности. В частности, наличие труб предполагается по данным комплексных исследований в пределах украинского сектора северо-западного шельфа Черного моря [10].

В результате 50-летних интенсивных геологоразведочных работ в украинском секторе северо-западного шельфа Черного моря открыто лишь 8 газовых и газоконденсатных месторождений с прогнозным суммарным запасом 59,5 млрд м³ газа и 3 млн т конденсата [36]. Для сравнения: в 2012 г. в Украине потреблено 54,1 млрд м³ газа. За 15 последних лет на структурах, которые были подготовлены поисково-детальными сейсморазведочными работами, скважины не вскрыли ни одного промышленного месторождения. Основная причина низкой эффективности поисков углеводородов заключается в том, что стратегическое планирова-

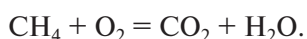
ние геологоразведочных работ основано исключительно на упоминавшейся биоосадочно-миграционной концепции происхождения углеводородов, а основным поставщиком информации были сейсмические разрезы.

Это побуждает к расширению информационной базы выбора объектов для поискового бурения с привлечением таких геофизических методов, которые фиксируют изменение физических свойств пород под воздействием углеводородов.

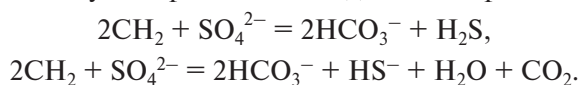
Эффективным поисковым методом прогноза скопления углеводородов в земной коре является целенаправленная интерпретация аномалий магнитного поля Земли [например, 3, 5, 23, 34, 37, 44]. Физическая основа этого подхода — свойство минералов железа в восстановительной среде трансформироваться в зависимости от состава в ферромагнитные минералы: магнетит (Fe_3O_4) или моноклинный пирротин (Fe_7S_8) [8, 31]. Преобразование первичного материала в приповерхностной зоне земной коры проходит следующим образом [42].

1. Углеводороды, которые представлены главным образом метаном, мигрируют из глубинных горизонтов к земной поверхности.

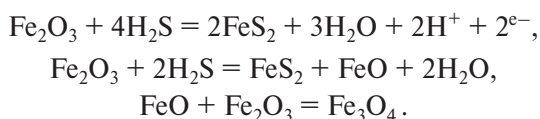
2. Когда вертикально мигрирующие углеводороды достигают приповерхностной зоны окисления, аэробные метанооксиляющие бактерии потребляют метан и переводят кислород в поровые воды:



3. После формирования анаэробных условий активность редуцирующих бактерий обуславливает восстановление ионов сульфата и окисление органического карбона, которые способствуют образованию соединений серы и иона бикарбоната:



4. Высокоактивные восстановленные образования серы могут вступать в реакцию с железом и образовывать сульфиды и окислы железа:



(они могут быть в форме магнетита, гематита, пирита, марказита, пирротина, грейгита или маггемита)

5. В результате сульфатредукции количество ионов сульфата уменьшается. Кроме этого, поровые воды обогащаются бикарбонатом, увеличивая pH и ускоряя осаждение карбонатного цемента, который заполняет поры осадков:



Описанные реакции, в которых принимают участие микробы, проходят в земной коре Каркинитского прогиба не глубже кровли мела (2 км), где температура была меньше 120 °C [15], что является верхним пределом их существования [35]. Из-за отсутствия бактерий в домеловых породах образование в них углеводородов биологическим путем вряд ли следует ожидать.

Поскольку самородное железо (ферромагнетик), обусловленное восстановлением железосодержащих минералов, в земной коре встречается исключительно редко на северо-западном шельфе, оно не играет существенной роли в образовании магнитных аномалий. Поэтому нет смысла рассматривать схемы этого процесса, которые детально описаны в [6, 30].

Увеличение или уменьшение величины магнитной восприимчивости пород под действием углеводородов зависит от состава соединений железа, образование которых контролируется геохимическими и термобарическими условиями в осадочном чехле [38]. Относительная интенсивность магнитных аномалий над скоплениями углеводородов зависит от того, какое количество магнетита образовалось при восстановлении или при разрушении гематита и формировании соединений серы в виде пирротина, поскольку они представляют наиболее магнитные минералы. Магнитная восприимчивость пород, подвергшихся воздействию углеводородов, может увеличиваться или уменьшаться по сравнению с имеющейся до этого события, поскольку все окислы железа в конечном итоге восстанавливаются до магнетита (ферромагнетик), а сульфиды — до пирита (парамагнетик). Поэтому в аномальном магнитном поле скопления углеводородов могут выделяться положительными и отрицательными аномалиями.

Лабораторные эксперименты показали, что насыщение пород углеводородными соединениями приводит к образованию магнетита, в результате чего их магнитная восприимчивость (χ) может увеличиваться в 170 раз [22, 24, 33]. На северо-восточном шельфе Черного моря величина χ гидротроилитовых илов с признаками пребывания в восстановительной среде (о чем свидетельствует серый и зеленый цвета [9]) достигает $800 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, тогда как у образцов этой породы шоколадного оттенка (первичный цвет) она не превышает $40 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ [20]. Значение χ образцов осадков прогиба Сорокина, в которых метан присутствует в составе газогидратов, превышает величину этого параметра для обычных образцов в 12—16 раз [27].

Приведенные выше теоретические представления и их экспериментальное подтверждение легли в основу интерпретации численным моделированием региональной аномалии (ширина 50—60 км) интенсивностью до 120 нТл [12, 13]. Она была выбрана для этой цели потому, что совпадает с зоной регионального глубинного Одесско-Синопского разлома, по которому метан может мигрировать ко дну моря через осадочный чехол толщиной до 16 км. В результате моделирования было предложено три варианта параметров возбуждающих объектов, причем каждая модель в той или иной степени аппроксимирует аномалию. Этот вывод справедлив лишь в единственном случае, если минералы железа горных пород пережили процесс восстановления в углеводородной среде. С учетом глубинного происхождения углеводородов наиболее вероятна модель, в которой источники аномалии расположены в базальтовом слое и осадочном чехле. Узкие локальные магнитные аномалии (ширина 20—30 км) интенсивностью 50—75 нТл в прогибе Сорокина также обусловлены концентрацией углеводородов в зонах разломов, которые выделены по магнитным и сейсмическим данным в осадочном чехле и в консолидированной коре [27].

В настоящей статье представлены результаты более детального трехмерного магнитного моделирования одного из районов перспективных нефтегазовых структур украинского сектора северо-западного шельфа. Ее цель — установить связь нефтегазоносности с магнитной неоднородностью земной коры и разломной тектоникой на Скифской плите в зоне сочленения Каркинитского прогиба и Черноморско-Каламитского вала и, соответственно, Каркинитско-Северокрымского и Ильичевск-Симферопольского нефтегазоносных районов Причерноморско-Крымской нефтегазоносной провинции. Для моделирования использованы

результаты аэромагнитной съемки масштаба 1:50000 [21]. Она осуществлена на вертолете Ми-8 высокочувствительным аэромагнитометром Picodas Helimag P101 (Канада) с регистрацией информации на жестком диске компьютера через 0,01 с. Расстояние между профилями равнялось 500 м. Плановая привязка маршрутов была обеспечена спутниковой системой навигации. Точность съемки и плановой привязки равна $\pm 1,2$ нТл и 10 м, соответственно.

В центре площади исследований зафиксировано сложное аномальное поле (рис. 1, см. вклейку). Оно состоит из положительных и отрицательных аномалий различных классов: положительной региональной размером 50×40 км и локальных почти изометрических диаметром от первых километров до 10—15 км, в том числе и таких, которые осложняют региональную аномалию. Интенсивность положительных аномалий наблюдаемого поля составляет 200—400 нТл. К югу от региональной аномалии группа локальных аномалий образует изометрическую область, где они связываются с меловыми магматическими образованиями, широко распространенными здесь [21]. Западнее положительных аномалий поле меняет знак и имеет относительно спокойный характер.

Рассматривая перспективы региона с точки зрения абиогенных углеводородов и поступления их из мантийных глубин, необходимо детально изучить разломную тектонику консолидированной коры и ее отражение в осадочном слое, где тектонические нарушения также являются каналами транспортировки газов. С этой целью использована схема разломной тектоники консолидированной коры северо-западного шельфа, а разломы классифицированы по рангам и глубинности [28]. Впервые для этого региона в данной работе было выполнено разделение гравитационного поля на составляющие, обусловленные осадочной толщей, консолидированной корой и мантией, что позволило выявить прямое проявление разломов в мантийной компоненте гравитационного поля. Для шельфа установлено наследование разломов консолидированной коры наиболее крупными известными нарушениями осадочного слоя. Такие разломы согласуются с результатами других авторов [21].

На рис. 1 изображена уточненная по последним данным схема разломов консолидированной коры на фоне аномального магнитного поля исследованной области. Главным разломом здесь является зона Одесско-Синопского разлома и фрагмент границы Восточноевропейской платформы, который идентифицируется с Тарханкутским разломом. Система разломов этого простирания охватывает Каркинитский прогиб, включая Голицынский разлом на его северо-западном борту, и четко фиксируется в аномальном магнитном и остаточном гравитационном полях. Южнее палеозойской сутуры [7] изменяется характер магнитного поля и преобладают субширотные разрывы, при этом фрагментарно прослеживаются и меридиональные.

П.Н. Кропоткин [14] предложил рассматривать месторождения нефти и газа как многоэтажное скопление углеводородов внутри «трубы» дегазации, куда мантийные углеводороды проникают по разломам коры. Этой проблеме посвящен ряд работ А.Е. Лукина, который конкретизировал понятие «трубы» дегазации, дренирующей осадочный чехол, и подчеркнул связь с глубинными разломами и зонами их пересечения [16]. В этом смысле важно подчеркнуть, что наличие зон пересечения даже уверенно выявленных глубинных разломов еще не является определяющим признаком формирования месторождений углеводородов. Для

этого эти зоны должны быть развиты в благоприятных условиях в осадочном чехле и кристаллическом фундаменте. Так что на первый план выступает изучение взаимосвязи структур глубинного и верхнего этажей земной коры. С другой стороны, прохождение флюидов через земную кору, как показано выше, может сопровождаться новообразованием магнетита и пирротина, что вызывает магнитные аномалии разного знака.

В результате анализа потенциальных полей и альтиметрии В. Кабанов и др. [10] предположили кольцевую структуру в северном расширении главной ступени СЗ шельфа Черного моря, которую они отождествили с «трубой» дегазации в уточнении А.Е. Лукина. Однако авторы не проанализировали положение ни месторождений углеводородов, ни выделенных наиболее перспективных структур относительно «трубы» дегазации. Поскольку такой анализ может дать дополнительные признаки перспективности того или иного объекта, он выполнен в этой работе.

Кольцевая конфигурация упомянутой структуры (рис. 1) подчеркивается фрагментами повышенных градиентов аномального магнитного поля. По нашим данным ее внутренняя структура характеризуется асимметрией. Зонай повышенных градиентов мантийной компоненты гравитационного поля она разделена на юго-западную и северо-восточную части. Первая из них имеет относительно спокойное магнитное поле низкой интенсивности, тогда как вторая фиксируется достаточно интенсивным положительным полем, в состав которого входит и региональная аномалия.

Эта аномалия, осложненная локальными аномалиями, локализована в узле пересечения разломов консолидированной коры северо-восточного простирания с зоной Одесско-Синопского мантийного разлома, причем она не выходит за пределы зоны и ограничена на юге палеозойской сутурой. Природа региональной магнитной аномалии детально не изучена. Ее источник может быть частично или полностью связан с повышением намагниченности пород в результате прохождения глубинных флюидов. На это указывает тот факт, что в центре региональной магнитной аномалии в остаточном гравитационном поле существует относительный минимум интенсивностью около 6 мГл, с которым совпадает локальная изометрическая магнитная аномалия. Этот гравитационный минимум свидетельствует о разуплотнении консолидированной коры в узле пересечения разломов, а локальная магнитная аномалия может быть обусловлена небольшим магматическим телом основного или среднего состава, которое вследствие его размеров не отражается в остаточном гравитационном поле, полученном в масштабе 1:500000 [28].

Детальное 3D магнитное моделирование в пределах северо-восточной части вышеупомянутой кольцевой структуры выполнено с учетом имеющихся геофизических данных и структурной позиции региональной аномалии. Как было уже указано, намагниченность тел может связываться с формированием магнитных минералов под влиянием глубинных флюидов, поэтому источники магнитных аномалий могут быть отнесены ко всему разрезу земной коры.

Исходными данными для построения модели служили аномальное магнитное поле (ΔT) [21], данные о строении земной коры по результатам ГСЗ вдоль профилей 25 и 26 [46], информация о глубине в изотермической поверхности Кюри магнетита [43], схема рельефа доюрского фундамента [39], результаты ранее выполненного мелкомасштабного магнитного моделирования [25]. Глубины

до верхних кромок возмущающих тел в консолидированной коре приняты равными глубине залегания фундамента. Глубины до нижних кромок соответствуют глубине до изотермической поверхности Кюри магнетита 578 °С [43]. Горизонтальные размеры, геометрия верхней грани источника и направления падения боковых граней согласовывались со структурным планом разрывных нарушений и зон максимальных градиентов изменения исходного поля.

Расчет эффекта источников магнитных аномалий осуществлялся с применением программного обеспечения, разработанного В.Н. Завойским-Коваленко и И.Н. Иващенко [11]. Ограниченная площадь работ не позволяет выполнить разделение поля на региональную и локальную компоненты. Поэтому подбор поля от магнитных источников выполнялся последовательно от региональной к локальным аномалиям таким образом, чтобы их суммарный эффект максимально приближался к значению наблюдаемого поля.

На рис. 2 (см. вклейку) изображена магнитная модель консолидированной коры исследуемого участка в виде проекций верхних и наклонных боковых граней источников на земную поверхность с указанием глубин залегания верхних и нижних кромок и значений намагниченности. В процессе моделирования выяснилось, что в результате аппроксимации источников консолидированной коры геометрическими телами не удалось достичь полного соответствия исходного и модельного полей. Выявлены их расхождения в виде области «размытой» конфигурации интенсивностью до +30 нТл. Подбор влияния источника такой формы при моделировании представляет большие трудности. Поэтому предполагается, что данная ситуация может быть объяснена повышением намагниченности осадочных пород под влиянием флюидов, поступающих по серии глубинных разломов в узле их пересечения (рис. 3, см. вклейку).

Для анализа пространственной связи месторождений углеводородов с магнитной неоднородностью и структурой консолидированной коры на рис. 2 показаны газовые и газоконденсатные месторождения и выявленные структуры. Как видим, в осадочном чехле над магнитным телом расположены Архангельское и Крымское газовые, а также Штормовое газоконденсатное месторождение. Кроме этого, над магнитными источниками находятся Федоровская, Центральная, Прибойная, Шельфовая, КП-33 и Штилевая структуры.

Итак, комплекс данных о параметрах региональной магнитной аномалии и ее источнике в пределах кольцевой структуры (рис. 1, 2), предполагаемая повышенная намагниченность осадочных образований, расположение аномалии в зоне пересечения двух систем зон глубинных мантийных разломов, наличие в центре аномалии относительного разуплотнения консолидированной коры, а также мантийной границы, согласованной с простираем и падением Одесско-Синопской зоны разломов, которая фиксирует отличие мантии по плотности по обе стороны от нее, позволяют предположить, что эти магнитные образования отражают отдельную изолированную «трубу» мантийной дегазации в пределах кольцевой структуры, выделенной в работе [10]. Такое предположение подтверждается присутствием здесь месторождений углеводородов.

Общеизвестно, что месторождения углеводородов очень часто имеют многоярусное строение, которое ряд исследователей рассматривает как показатель связи с «трубами» дегазации. Принципиальная схема такой связи на примере Днепровско-Донецкой впадины представлена на рис. 4. Такая же многоярусная

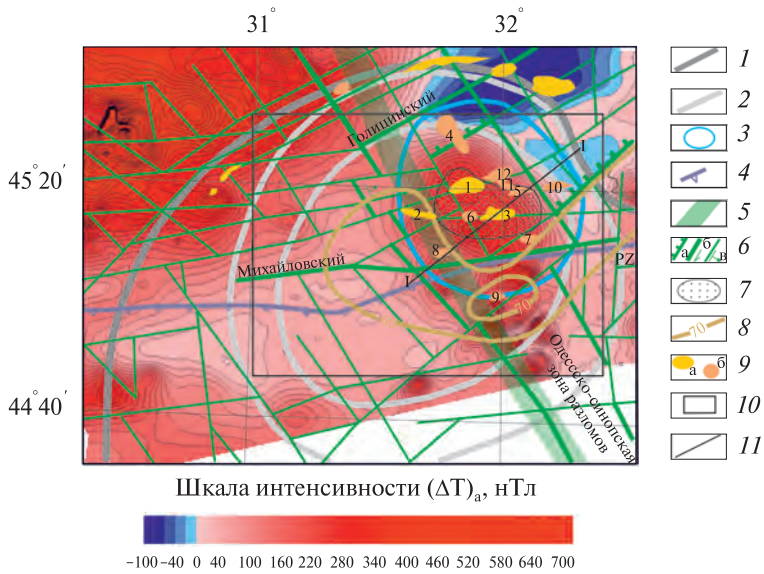


Рис. 1. «Труба» дегазации, аномальное магнитное поле и разломная тектоника консолидированной коры. Составлено с привлечением материалов [1, 7, 10, 28, 43]: 1 — тыловой уступ первой главной ступени шельфа; 2 — граница трубы дегазации; 3 — контур «трубы» дегазации по данным комплексного анализа 3D магнитной модели; 4 — палеозойская сутура; 5 — ось зоны повышенного градиента мантийной компоненты гравитационного поля; 6 — разломы консолидированной коры: граница ВЕП (а); первого ранга (б), более высоких рангов (в) с направлениями горизонтальных перемещений и падения; 7 — относительный минимум остаточного гравитационного поля; 8 — область аномально высокого теплового потока; 9 — газовые и газоконденсатные месторождения (а), локальные структуры подготовлены к разведки (б): 1 — Архангельское, 2 — Штормовое, 3 — Крымское, 4 — Шельфовая, 5 — Прибойная, 6 — Штилевая, 7 — Центральная, 8 — Федоровская, 9 — Ильичевская; 10 — участок моделирования; 11 — интерпретационный профиль

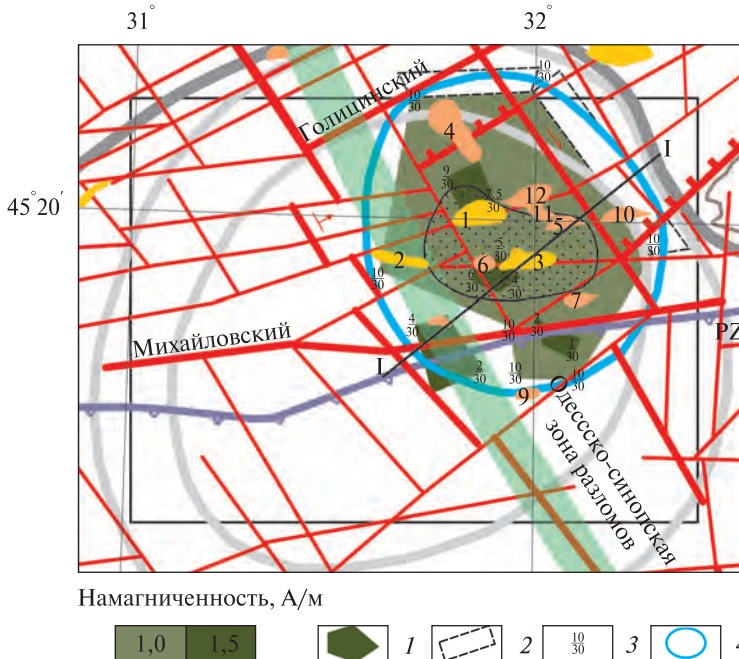
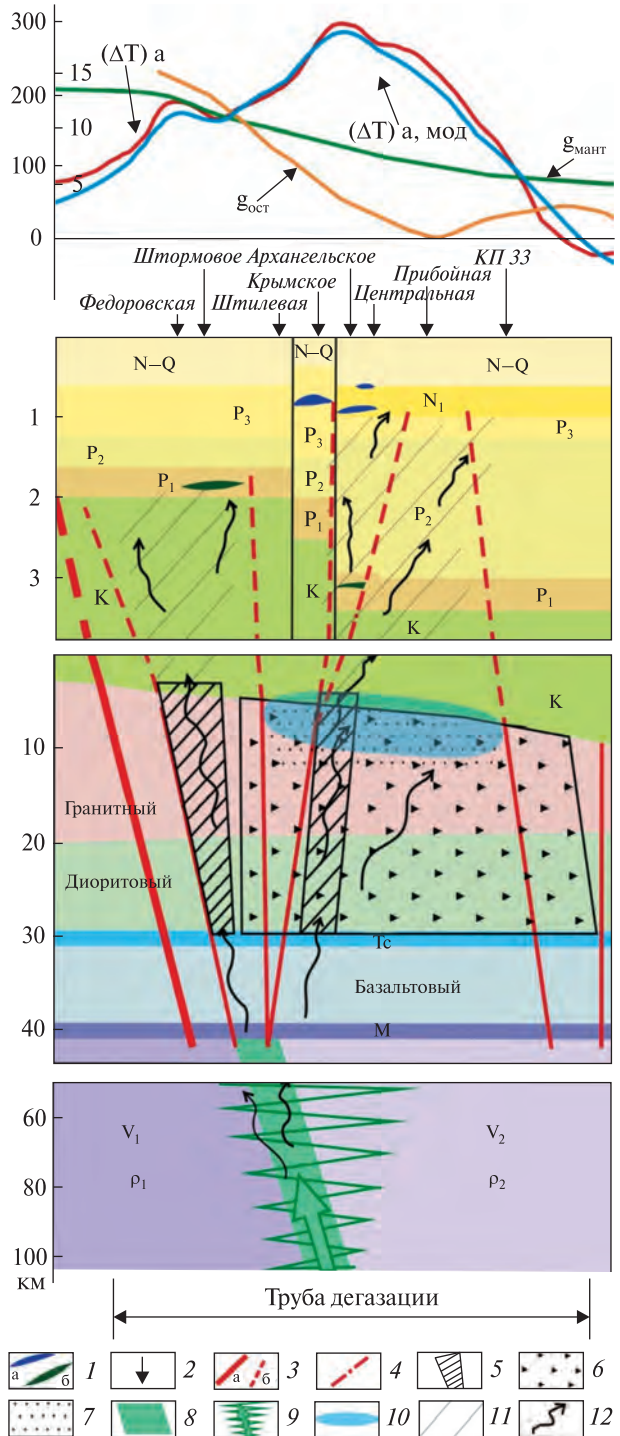


Рис. 2. 3D магнитная модель: 1 — проекции на земную поверхность верхних границ источников аномалий; 2 — проекция наклонных граней; 3 — глубины залегания верхних (числитель) и нижних (знаменатель) кромок источников, км; 4 — контур «трубы» дегазации по данным комплексного анализа 3D магнитной модели. Другие условные обозначения на рис. 1.

Рис. 3. Схема «трубы» дегазации в развитие концепции П.А.Кропоткина и А.Е. Лукина: связь месторождений углеводородов с глубинным строением литосферы. Составлена с привлечением материалов (Атлас ..., 1998; Нечаева и др., 2003; Старостенко и др., 2005б, 2014; Шумлянская и др., 2007; Yegorova et al., 2010; Nikishin, Petrov, 2013): 1 — месторождения: газа (а) и газоконденсата (б); 2 — месторождения углеводородов и установленные структуры, 3 — разломы консолидированной коры (а) и их предполагаемое продолжение в осадочном чехле (б); 4 — установленное тектоническое нарушение в осадках; 5 — магнитные тела, которые отождествляются с магматическими образованиями мелового возраста; 6 — магнитное тело с повышенной намагниченностью, обусловленное магнитными минералами, возникшими под влиянием глубинных флюидов; 7 — разуплотнение консолидированной коры; 8 — трансмантийная зона раздела мантии между областями с различными V_p и ρ по данным интерпретации сейсмотомографии и мантийной компоненты гравитационного поля; 9 — канал поступления (глубинных) мантийных флюидов; 10 — перспективная область на скопление углеводородов в фундаменте; 11 — магнитные осадочные породы; 12 — пути миграции глубинных углеводородов. Другие условные обозначения на рис. 1, 2



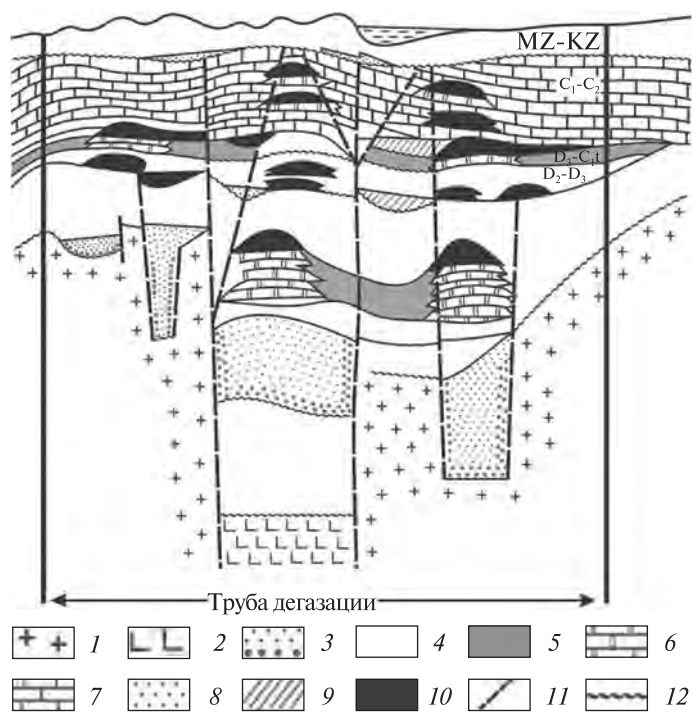


Рис. 4. Принципиальная схема сквозьформационной системы и ее соотношение с трубой дегазации (в понимании П.Н. Кропоткина) [19]: 1 — кристаллические породы докембрийского фундамента; 2 — базальты; 3 — песчано-грубообломочные молассоиды; 4 — карбонатно-терригенные отложения; 5 — темноцветные кремнисто-карбонатно-глинистые отложения; 6 — рифогенно-карбонатные массивы; 7 — шельфовые карбонаты; 8 — аккумулятивные песчаные тела; 9 — палеоруsla; 10 — нефтяные залежи; 11 — разрывные нарушения; 12 — поверхности несогласия

структура установлена на месторождениях СЗ шельфа [1, 4]. Так на Архангельском месторождении газоносные горизонты обнаружены в трех интервалах: 600—633, 778—787 и 840—908 м. При этом наибольший дебит (118 м³ в сутки) отмечен в последнем интервале. Это обстоятельство может свидетельствовать о поступлении газа с больших глубин. На рис. 3 приведен схематический разрез литосферы вдоль профиля I—I, положение которого показано на рис. 1, 2.

По глубинными признакам [16] «труба» размещена в узле пересечения зон разломов консолидированной коры, которые выделены над зоной сочленения двух крупных мантийных областей с различными скоростями продольных сейсмических волн на глубинах до 150 км [29, 32] (рис. 3). К западу от этой зоны скорость продольных сейсмических волн больше, чем на востоке. Зона согласуется со структурой мантийной компоненты гравитационного поля, которая соответствует большей плотности мантии в западной области, чем в восточной. Она прослеживается и в более глубоких этажах мантии как наклонная к востоку трансмантийная зона, которая фиксирует переход к дифференцированному на востоке скоростному разрезу зоны раздела 1, средней мантии и зоны раздела 2 [29].

Таким образом, Одесско-Синопская зона разломов, которая согласуется с падением мантийной зоны раздела, наследует мантийную неоднородность (рис. 1, 3) и переход от стабильной мантии к активизированной. При этом можно обоснованно предположить, что узел ее пересечения с зонами северо-восточных разломов, в том числе и с палеозойской сутурой, представляет собой канал поступления глубинных флюидов в разуплотненную консолидированную кору, а по разломам осадочного чехла — и в его толщу. Здесь нужно отметить, что все месторождения углеводородов и перспективные структуры находятся в «висячем» боку Одесско-Синопской зоны и ее мантийного продолжения. Такая ситуация и

предполагаемое наличие магнитных пород в осадочной толще позволяют наметить пути миграции мантийных флюидов (рис. 3). Комплексный подход к интерпретации полученной 3D магнитной модели исследуемой площади показал возможное существование структуры типа «трубы» дегазации как канала поступления глубинных флюидов.

Расположение в пределах «трубы» дегазации месторождений углеводородов и благоприятные условия для поступления глубинных флюидов приводит к выводу, что в ее пределах кроме месторождений в осадочном чехле перспективной областью для притока глубинных углеводородов является разуплотнение пород домелового фундамента. В этом случае можно предположить пополнение запасов существующих месторождений осадочного чехла и перспективность выявленных структур (Штилевой, Прибойной, Центральной, а также Федоровской и Шельфовой) в пределах обозначенной «трубы» дегазации.

Таким образом, основные выводы сводятся к следующему:

- построена подробная трехмерная магнитная модель масштаба 1:50000 центральной части украинского сектора северо-западного шельфа Черного моря;
- в осадочном чехле в пределах области повышенной намагниченности над магнитным телом в консолидированной коре расположены Архангельское и Крымское газовые месторождения, Штормовое газоконденсатное месторождение, а также Штилевая Федоровская, Центральная, Прибойная, КП-33 и Шельфовая структуры;
- по глубинным признакам в узле пересечения зон разломов консолидированной коры, которые фиксируются над зоной сочленения двух крупных мантийных областей с различными скоростями продольных сейсмических волн на глубинах до 150 км, расположена «труба» дегазации, в которой выделен канал вертикальной миграции глубинных метаносодержащих флюидов;
- наиболее благоприятными объектами для скоплений углеводородов является верхняя часть магнитного тела в разуплотненной консолидированной коре и структуры осадочного чехла, локализованные над ним.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас* родовищ нафти і газу України. Південний Нафтогазоносний регіон. Українська нафтогазова академія. — Львів. — 1998. — 222 с.
2. Багдасарова М.В. Особенности флюидных систем зон нефтегазоаккумуляции и геодинамические типы месторождений нефти и газа // Электронный журнал «Глубинная нефть». — 2014. — Том 2. — № 2. — С. 200—209.
3. Березкин В.М., Будагов А.Г., Филатов В.Г., Дорофеев И.Ф., Бульчев Е.В. Новые возможности аэромагниторазведки при поисках нефти и газа. Прикладная геофизика. — М.: Недра, 1994. — С. 217—226.
4. Богданов Ю.А., Коболев В.П., Русаков О.М., Захаров И.Г. Геополаритонное зондирование газоносных структур северо-западного шельфа Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2007. — № 1. — С. 77—87.
5. Гадиров В.Г. Применение магниторазведки для поисков залежей нефти и газа на перспективных площадях Азейбаржана // Геофиз. журн. — 2013. — 35, № 6. — С. 78—92.
6. Гантимуров А.А. Флюидный режим железокремниевых систем. — Новосибирск: СО АН СССР, 1982. — 106 с.
7. Герасимов М.Є., Бондарчук Г.К., Юдін В.В. Тектонічна карта Азово-Чорноморського регіону. М-б 1 : 500 000. / Державна геологічна служба України. — К., 2005. — 1 лист.
8. Дортман Н.Б. (ред) Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). — М.: Недра, 1984. — 449 с.

9. *Ежова А.В.* Литология: учебник. — Томск: Из-во ТПУ, 2009. — 336 с.
10. *Кабанов В., Полицев А., Чепиль П., Филатова Т., Шербина В.* Прогноз газоперспективных объектов украинской зоны шельфа Чёрного моря // Проблемы геодинамики и нефтегазоносности Черноморско-Каспийского региона. — Симферополь, 2004. — С. 107—116.
11. *Коваленко-Завойський В.М., Іващенко І.М.* Математичне забезпечення інтерпретації поля ΔV_a регіональних магнітних аномалій // Геофиз. журн.— 2006. — **28**, № 5. — С. 18—29.
12. *Кравченко С. Н., Орлюк М.И., Русаков О.М.* Газогидраты как нетрадиционный источник магнитных аномалий осадочных толщ Чорного моря // Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-Каспийского региона. Тез. докл. — Симферополь : Форма, 2002. — С. 100—101.
13. *Кравченко С. Н., Орлюк М.И., Русаков О.М.* Новый подход к интерпретации региональной Западно-Черноморской магнитной аномалии // Геофиз. журн. — 2003. — № 2 —С. 135—144.
14. *Кропоткин П.Н.* Дегазация Земли и генезис углеводородов // ЖВХО. — 1986. — № 5. — С. 482—581.
15. *Кутас Р.И.* Геотермические условия осадочных бассейнов Крымско-Черноморского региона. Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа // Сб. докладов IX Международной конференции «Крым — 2011». — Симферополь: Форма, 2011. — С. 12—26.
16. *Лукин А.Е., Шумлянский В.А., Дьяченко Г.И., Ивантишина О.М.* Проблемы холодной дегазации Земли. — К.: Изд. ИФИ Укр...науч. ассоц., 1994. — 80 с.
17. *Лукин А.Е.* Изотопно-геохимические индикаторы углекислой и углеводородной дегазации в Азово-Черноморском регионе // Геол. журн. — 2003. — № 1. — С. 59—73.
18. *Лукин А.Е.* Биогенно-карбонатные постройки на выступах разуплотненных кристаллических пород — перспективный тип комбинированных ловушек нефти и газа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2007. — № 2. — С. 1—21.
19. *Лукин А.Е., Мармалевский Н.Я., Постникова Н.Н.* О возможностях объемного картирования сейсморазведкой 3D сквозьформационных флюидопроводящих систем в нефтегазоносных бассейнах (на примере южной прибортовой зоны ДДВ) // Современные методы сейсморазведки при поисках месторождений нефти и газа в условиях сложнопостроенных структур (Сейсмо-2010) Международная научно-практическая конференция (19—25 сентября 2010 г., пгт. Курортное, АР Крым, Украина). — С. 1—6.
20. *Михайлюк С.Ф., Корчин В.А., Буртний П.А.* Физические свойства донных образований северо-западной части шельфа Черного моря // Геофиз. журн. — 1997. — № 6. — С. 105—112.
21. *Нечаєва Т.С., Дзюба Б.М., Шимків Л.М., Огарь В.В.* Використання даних потенціальних полів для прогнозування покладів нафти і газу в межах ДДЗ та Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної провінції // Проблемы геодинамики и нефтегазоносности Черноморско-Каспийского региона. — Симферополь: Агео, 2003. — С. 202—207.
22. *Орлюк М.И., Кравченко С.М., Єнтін В.А.* Магнітна характеристика порід осадкового чохла Центральної депресії Дніпрово-Донецького авлакогену // Нафта і газ України, Матеріали 6-ої Міжн. наук.-прак конф. — Івано-Франківськ, 2000. — Т. 1. — С. 303.
23. *Орлюк М., Єлісєєва С., Роменець А., Сікан Т.* Геомагнітні дослідження для території східно-Саратського родовища. // Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-Каспийского региона. — Симферополь: Форма, — 2002. — С. 147—148.
24. *Орлюк М.И., Друкаренко В.В.* Магнитная восприимчивость пород северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 1. — С. 78—92.
25. *Орлюк М. И., Роменець А.А.* Геомагнитные исследования северо-западные части Черного моря в связи с перспективами нефтегазоносности // Проблемы геодинамики и нефтегазоносности Черноморско-Каспийского региона. — Симферополь, 2011. — С. 30—32.
26. *Родников А.Г., Забаринская Л.П., Сергеева Н.А.* Глубинные очаги генерации углеводородов в верхней мантии региона Охотского моря // Электронный журнал «Глубинная нефть». — 2014. — Том 2. — № 2. — С. 210—219.
27. *Старостенко В.И., Русаков О.М., Кутас Р.И. и др.* Геофизические исследования // Газовый вулканизм Черного моря. — К.: Професіонал Груп, 2005. — С. 55—88.

28. 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. — 27, № 2. — С. 195—07.
29. Старостенко В.И., Лукин А.Е., Цветкова Т.А., Шумлянская Л.А. Геофлюиды и современное проявление активизации Ингульского мегаблока Украинского щита // Геофиз. журн. — 2014. — 36, № 5.— С. 3—25.
30. Флюидный режим земной коры и верхней мантии. — М.: Наука, 1977. — 210 с.
31. Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса. — М.: Геос, 2006. — 608 с.
32. Шумлянская Л.А., Заец Л.Н., Цветкова Т.А. Трехмерная скоростная структура мантии территории Украины и нефтегазоносность // Геофиз. журн. — 2007. — № 1. — С. 122—130.
33. Bucha V. Geomagnetism of the external flisch of Czechoslovakian Carpatians and the possible causes of anomaly geophysical manifestations // Stud. geophys. et geod. — 1984. — № 3. — P. 227—251.
34. Eventov L. Applications of magnetic methods in oil and gas exploration // The Leading Edge. — 1997. — P. 489—491.
35. Feinberg L.F. Dissimilatory iron reduction in the hyperthermophilic Archaea *Pyrobaculum* Ph.D. Thesis. — University of Massachusetts, Amherst, USA, 2007. — 155 p.
36. Khriachtshvska O., Stovba S., Popadyuk I. Hydrocarbon prospects in the Western Black Sea of the Ukraine // The Leading Edge September, 2009. — P. 1024—1029.
37. LeSchack L.A., and Van Alstine D.R. High-resolution ground-magnetic (HRGM) and radiometric surveys for hydrocarbon exploration: Six case histories in Western Canada, in Surface exploration case histories: Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing / D. Schumacher and L.A. LeSchack, eds. // AAPG Studies in Geology. No. 48 and SEG Geophysical References Series. — 2002. — No. 11. — P. 67—156.
38. Machel H.G., Burton E.A. Chemical and microbial processes anomalous magnetization in environments affected by hydrocarbon seepage // Geophysics. — 1991. — 5.— P. 598—605.
39. Nikishin A.M., Petrov E.I. Project «Geology Without Limits». New set of seismic data for Black Sea. режим доступа: www.blackseandcaspien.com/.../6-Nikishin-Petr. — 2013.
40. Okay A.I., Nikishin A.M. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region. International Geology Review, 2015. DOI: 10.1080/00206814.2015.1010609.
41. Pease, P., Daly, J.S., Elming, S.-A., Kumpulainen, R., Moczydlowska M., Puchkov, V., Roberts, D., Saintot, A., Stephenson, R. Baltica in the Cryogenian, 850—630 Ma // Precambrian Research. — 2008. — 160. — P. 46—65
42. Schumacher D. Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments. Hydrocarbon migration and its near surface expression / Schumacher D., Abrams M. A. (eds) // AAPG Memoir. — 1996. — 66. — P. 71—89.
43. Starostenko V.I., Dolmaz M.N., Kutas R.I., Rusakov O.M., Oksum E., Hisarli Z.M., Okyar M., Kalyoncuoglu U.Y., Tutunsatar H.E., Legostaeva O.V. Thermal structure of the crust in the Black Sea: comparative analysis of magnetic and heat flow data // Marine Geophysical Research. DOI 10.1007/s11001-014-9224-x, 2014.
44. Terrence J. Donovan, Randal L. Forgey, Alan A.Roberts. Aeromagnetic Detection of Diagenetic Magnetite over Oil Fields // The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. — 63, No. 9 (September 1979). — P. 245—248.
45. Winchester J. A., Pharaon T. C., Verniers J., Ioann D, Seghedi A., Palaeozoic accretion of Gondwana-derived terranes to the East European Craton: recognition of detached terrane fragments dispersed after collision with promontories // European Lithosphere Dynamics. Gee D.S. and Stephenson R.A. (eds) Geological Society of London, Memoir. — 2006. — 32. — P. 323—332.
46. Yegorova T., Baranova K., Omelchenko V. The crustal structure of the Black Sea from the reinterpretation of deep seismic sounding data acquired in the 1960s // Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Sosson M., Kaymakci N., Stephenson R.A., Bergerat F. & Starostenko V. (eds.). / Geological Society, London, Special Publications. — 2010. — 340. — P. 43—56.

Статья поступила 25.03.2015

В.И. Старостенко, О.Ю. Лукин, О.М. Русаков, И.К. Пашкевич, Т.В. Лебедь

**ВУГЛЕВОДНЕВИЙ СКРІЗЬФОРМАЦІЙНИЙ ФЛЮІДОПІДВІДНИЙ КАНАЛ
НА ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОМУ ШЕЛЬФІ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ
ТРИВИМІРНОГО МАГНІТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

За даними тривимірного магнітного моделювання виявлено канал вертикальної міграції глибинних метанонасичених флюїдів у вузлі перетину глибинних розломів на північно-західному шельфі Чорного моря. У межах його контуру розташовані Архангельське і Кримське газові родовища, Штормове газоконденсатне родовище, а також Штильова, Федорівська, Центральна, Прибійна, КП-33 і Шельфова структури. Показано, що найсприятливіми об'єктами для скупчень вуглеводнів є верхня частина магнітного тіла в розушільненій консолідованій корі та структури осадового чохла, локалізовані над ним.

Ключові слова: *глибинна дегазація, тривимірне магнітне моделювання, газоносність, Чорне море.*

V.I. Starostenko, O.YU. Lukin, A.M. Rusakov, I.K. Pashkevych, T.V. Lebid

**HYDROCARBON THROUGH — CRUST FLUID — CONDUCTING CANAL
ON THE NW BLACK SEA SHELF FROM THREE DIMENSIONAL
MAGNETIC MODELLING**

Based on three dimensional magnetic modelling, a canal for vertical migration of deep methane containing fluids has been unrevealed in an interception knot of deep faults on the NW Black Sea shelf. Within the contour of the canal there are Arkangelskoe, and Krymskoe gas fields, Shtormovoe gas condensate field as well as Shtilevaia, Fedorovskaia, Tsentralnaia, Priboinaia, KP-33 and Shelfovaia discoveries. The most favourable objects for hydrocarbon accumulations have been shown to be the upper part of a magnetic body in the low-density crystalline crust and features in the sedimentary cover over it.

Key words: *Deep degassing, Three dimensional magnetic modelling, Gas-presense, Black Sea.*