

УДК 550.838.5+550.8.05

**ФЛЮИДНЫЕ СИСТЕМЫ СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ**

© 2011 А.А. Петрова, М.С. Петрищев

*Санкт-Петербургский филиал Учреждения Российской Академии Наук  
Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,  
Санкт-Петербург, 191023; e-mail: mp@izmiran.spb.ru*

В работе проведено исследование неоднородностей внутреннего строения земной коры Средиземноморья по результатам анализа данных гидромагнитной съемки, магнитных аномалий карты WDMAM 2007 и спутника CHAMP. Глубины очагов землетрясений и сейсмические границы соотнесены с положением маркирующих горизонтов геомагнитных разрезов. По материалам площадных приземных и спутниковых съемок геомагнитного поля построены схемы распределения слабомагнитных ареалов флюидных систем для глубин 5 и 20 км. Сопоставление характера расположения этих ареалов с тектоническим режимом Средиземного моря подчеркнуло основные особенности строения, влияющие на размещение природных ресурсов региона. На основе изучения известных месторождений моря Леванта и Тирренского моря в работе показана роль элементов флюидных систем в подпитке нефтегазовых и геотермальных месторождений. По результатам исследований предложен региональный критерий мелкомасштабного прогноза для постановки геологоразведочных работ на нефть, газ и геотермальные месторождения в районах южного побережья Средиземного моря, юго-западной части моря Леванта и восточнее о. Кипр.

*Ключевые слова: геомагнитное поле, флюидные системы, нефть, газ, геотермальное месторождение.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Опыт интерпретации геомагнитной съемки на территории России и за ее пределами при работах на нефть, газ и гидротермальные ресурсы показал, что аномальное магнитное поле модуля  $(\Delta T)_a$  и вертикальной компоненты  $(\Delta Z)_a$  на месторождениях таких типов обладает специфическими особенностями (Копытенко и др., 2011; Мавричев, Петрова, 2001; Мавричев и др., 2002; Петрищев и др., 2011). В верхней коре выделяются треки слабомагнитных подводящих каналов, которые прослеживаются из низов земной коры.

Субгоризонтальные слабомагнитные слои в средней части коры ассоциируются с областями пониженных значений сейсмической скорости, плотности и повышенной электропроводности. По совокупности признаков выделенные структуры идентифицируются как реологически ослабленные слои (Киссин, 2009; Копытенко и др., 2011; Петрищев и др., 2011). Ослабленные зоны связываются с процессами динамотермального метаморфизма пород и играют важную роль в процессе транспорта флюида к поверхности. Эти особенности отражаются на структуре гео-

термического поля в виде повышенных значений теплового потока. Наличие основных элементов флюидной системы в виде ослабленных зон и подводящих каналов является важным условием возобновляемости ресурсов как в случае углеводородных (УВ), так и геотермальных месторождений.

Поиск подводящих каналов подпитки нефтегазовых месторождений осадочного чехла за счет притока УВ из глубин фундамента представляет большой интерес при оценке перспектив нефтегазоносности бассейна. В этом случае формирование месторождений происходит за счет вертикально восходящей миграции углеводородных флюидов через разломы, секущие кристаллический фундамент и нижние горизонты осадочного чехла. Так, например, на Ромашкинском месторождении Татарстана (Ларочкина, 2008) и Куюмбино-Юрубчено-Тохомском ареале нефтегазонакопления Восточной Сибири (Харахинов и др., 2011) установлена доминирующая роль восходящей миграции нефти. Для этих месторождений и месторождений Северного моря показано, что пути миграции потоков тепла и флюидов в нефтегазоносных бассейнах четко

отражаются в особенностях структуры геомагнитного поля (Петрова, Демина, 2009; Petrova, Demina, 2010). Флюидопроводящие каналы, по-видимому, возникают под действием восходящего потока тепла и флюидов, поднимающихся по разломам с больших глубин и расходящихся в верхней части коры на отдельные струи. Внутри каналов идет направленное преобразование пород, изменяющее их физические свойства, в том числе магнитные. В результате этого процесса пути миграции флюидизированных потоков прослеживаются на глубинных геомагнитных разрезах в виде сквозных немагнитных треков, секущих слои земной коры. Латеральная расслоенность литосферы проявляется в виде зоны пониженной магнитности с квазислоистой структурой. Чередование магнитных неоднородностей и слабомагнитных образований в разрезе идентифицируется с положением маркирующих границ по сейсмическим данным (Маловицкий, Осипов, 1975; Москаленко, 1981; Петрова, Баткова, 2009; Петрова и др., 2009; Grad et al., 2009 и др.).

Детальные исследования месторождений гидротермальных вод в России и за рубежом (Копытенко и др., 2011; Петрищев и др., 2011) подтвердили наличие в земной коре системы ослабленных линз, выстроенных в субвертикальную систему, которую можно ассоциировать с каналом флюидной проработки.

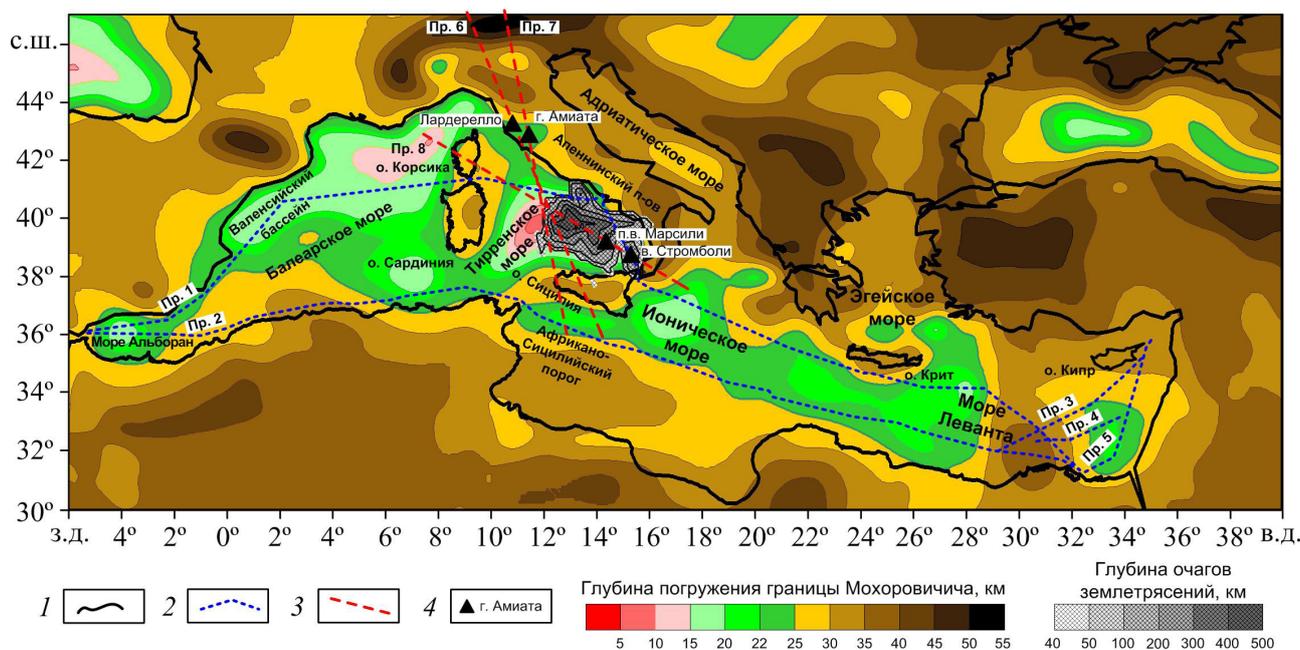
Целью настоящей работы является анализ особенностей флюидной системы Средиземноморья на примере наиболее крупных

проявлений нефтегазовой и геотермальной активности для выявления потенциала всего этого региона и составления прогноза площадей, перспективных на проведение поисковых геологоразведочных работ.

Исследование магнитных и слабомагнитных неоднородностей земной коры проведено методом спектрально-пространственного анализа (Петрова, 1976), позволяющим конвертировать спектрально-пространственное представление геомагнитного поля в глубинный геомагнитный разрез (Мавричев, Петрова, 2001; Петрова, 1980; Петрова, Демина, 2009; Petrova, Demina, 2010). Расчеты намагниченности выполнены по системам профилей, пересекающих известные газонефтеносные структуры (Erpelbaum, Katz, 2011) моря Леванта. Результаты представлены в виде глубинных геомагнитных разрезов. В результате выполненных исследований выявлены особенности флюидной системы Средиземного моря, исследованы зоны сочленения блоков с различными типами земной коры и специфика тектонических нарушений, проявившихся в виде контактов пород разной намагниченности.

### ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ РАЙОНА СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ

По особенностям строения и тектоническому режиму Средиземное море отчетливо разделяется на два сектора, расположенные к западу и востоку от Ионического моря (рис. 1).



**Рис. 1.** Глубина погружения границы Мохоровичича Средиземноморья и положение очагов глубинных землетрясений в пределах Тирренского моря: 1 – граница береговой линии; 2 – профили гидромагнитной съемки; 3 – профили по материалам Мировой карты WDMAM 2007; 4 – места проявления геотермальной активности.

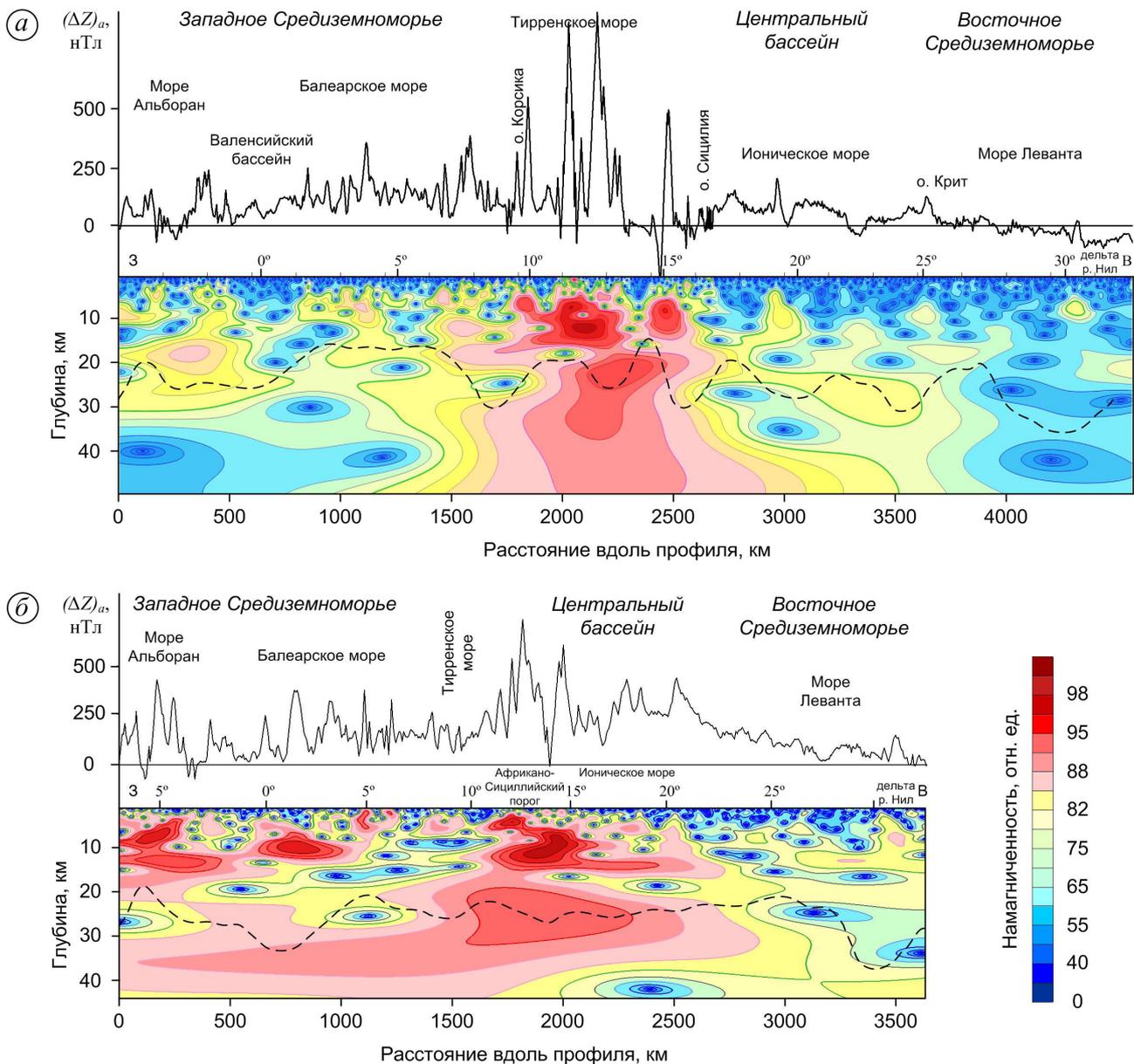
## ФЛЮИДНЫЕ СИСТЕМЫ СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ

Западный сектор считается вовлеченным в процесс формирования океанической коры, для восточного сектора такого рода явления не характерны, он отличается большей стабильностью и гомогенностью (Хаин и др., 1998). Западный сектор находится в пределах альпийского пояса, составной частью которого являются морские впадины. Восточный сектор, называемый морем Леванта, находится на продолжении Африкано-Аравийской платформы вне альпийского пояса.

Изучение глубинного строения Средиземного моря выполнено на основе цифровой базы данных, созданной по материалам гидромагнитной компонентной съемки, выполненной научно-исследовательским судном «Заря» (Баткова и др., 2007; Карасик и др., 1986). Проведенное исследование по протяженным (более 3500 км) профилям 1 и 2 отчетливо

отражает особенности строения осадочного чехла и фундамента геологических структур Средиземноморья (рис. 1, 2). В качестве исходных данных использована аномальная составляющая вертикальной компоненты геомагнитного поля  $(\Delta Z)_a$ .

Профиль 1 (рис. 2а) пересекает северную часть главных геоструктур – область Западно-Средиземноморского опускания и Восточно-Средиземноморскую плиту. На магнитном разрезе отражаются неоднородности строения разных тектонических блоков. Блоки отличаются степенью насыщенности магнитоактивными телами и глубинами залегания поверхности Мохоровичича (М). На разрезе по профилю 2 (рис. 2б) между 10 и 16 меридианами выделяется блок Африкано-Сицилийского порога. Характер сочленения мегаблоков отражает своеобразие



**Рис. 2.** Геомагнитные разрезы по профилям 1 (а) и 2 (б). Пунктиром отмечено положение границы М.

строения зон тектонических нарушений, проявляющихся в виде вертикальных и наклонных контрастных контактов пород с разной намагниченностью.

### НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

Большой интерес при исследовании глубинного строения земной коры нефтегазоносных бассейнов вызывают неоднородности внутрикорковых слоев в диапазоне глубин от 10 до 40 км (Павленкова, 2001; Петрова, Баткова, 2009; Петрова, Демина, 2009; Petrova, Demina, 2010). Это – реологически ослабленные слои в средней и нижней коре, которые характеризуются пониженными значениями скоростей сейсмических волн, намагниченности, плотности и повышенной электропроводностью. Исследование нефтегазоносных бассейнов по магнитометрическим данным позволяет уточнить характер расслоенности среднего и нижнего слоев земной коры. Так, например, флюидный канал, выходящий в районе нефтегазоносного Валенсийского бассейна (рис. 2а), проходит через ослабленные флюидонасыщенные слои, расположенные в диапазоне глубин 12-20 км и 30-35 км. Слабомагнитные проницаемые зоны на геомагнитном разрезе отражают пути миграции восходящих струй флюидизированных потоков, выходящих из верхней мантии.

Для нефтегазоносных бассейнов Северного и Баренцева морей по особенностям структуры аномального магнитного поля  $(\Delta Z)_a$  и  $(\Delta T)_a$  найдена закономерность в распределении латеральных и вертикальных неоднородностей в зонах нефтегазогенерации (Петрова, Баткова, 2009; Петрова, Демина, 2009; Petrova, Demina, 2010). Изучение областей с известной

нефтегазоносностью позволяет уточнять специфику строения нефтегазоносных бассейнов в конкретном регионе исследования. В Средиземном море такой областью может служить восточная часть моря Леванта, где известны нефтегазоносные поля с месторождениями нефти и газа.

Наши исследования выполнены по профилям 1-5 (рис. 1, 2, 3), которые проходят вблизи газоносной зоны дельты р. Нил (Erpelbaum, Katz, 2011). Эти области газоскопления тяготеют к слабомагнитным флюидонасыщенным слоям, расположенным в средней части коры (рис. 2, 3).

Профиль 1 в юго-восточной части пересекает зону газовых и нефтяных месторождений дельты р. Нил (рис. 2а). На разрезе эта зона видна как слабомагнитная область в интервале глубин от 3 до 6 км, приуроченная к ослабленному слою средней коры на глубине около 12-15 км. По нашему мнению возможно, что в 300 км к северо-западу от дельты р. Нил существует мощная зона нефтегазообразования, подпитываемая по флюидоподводящему каналу с глубины около 17 км.

На разрезе по профилю 2 (рис. 2б) наиболее мощная подпитка проявляется по сквозному каналу в зоне месторождений к западу от дельты р. Нил. Кроме того, на геомагнитных разрезах хорошо прослеживается путь продвижения наклонного канала, на выходе которого на глубинах от 2 до 5 км возможно скопление УВ с глубинной подпиткой, которая является основой долгосрочности и возобновляемости месторождений.

На разрезе по профилю 3 области газообразования западнее дельты р. Нил приуро-

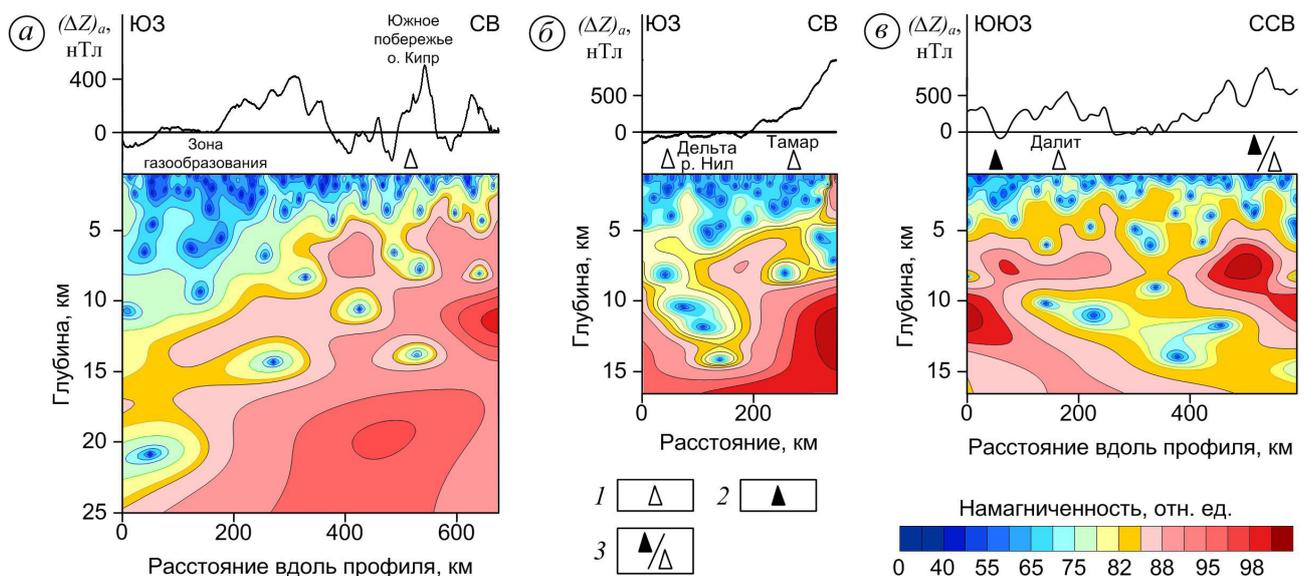


Рис. 3. Геомагнитные разрезы чехла и фундамента вдоль профилей 3 (а), 4 (б) и 5 (в). Известные месторождения углеводородов: 1 – газа; 2 – нефти; 3 – предполагаемые зоны нефтегазоаккумуляции.

ченны к трекам пониженной намагниченности в интервале глубин от 4 до 7 км (рис. 3а). Возможно, что они подпитываются с глубины около 20 км. Кроме того, к месторождению возле южного побережья о. Кипр из этой же глубинной зоны выходит наклонная ветвь северо-восточного направления, что говорит о наличии здесь флюидного канала и возможной перспективности района на УВ.

Профиль 4 на юго-западе пересекает месторождение, приуроченное к мощному флюидоподводящему каналу углеводородной проработки, идущему с глубины 10-13 км (рис. 3б). В северо-восточной части профиль 4 проходит через северную окраину газового месторождения Тамар. Оно находится на глубине 1700 м и имеет глубину залегания газоносного слоя около 4900 м, что проявляется на геомагнитном разрезе (рис. 3б).

Профиль 5 на юге пересекает нефтяное месторождение, а в центральной части – газовое месторождение Далит (рис. 3в). Северная часть профиля пересекает зону потенциального нефтегазонакопления, расположенную к востоку от о. Кипр. Газовый карман Далит приурочен к слабомагнитной области на глубине около 3-4 км, расположенной над ослабленной флюидонасыщенной линзой с глубиной залегания 10-12 км.

Можно предположить, что в 100 км севернее месторождения Далит существует аналогичное газоскопление, так как именно туда выходит центральная ветвь восходящего потока флюидопроницаемого канала, идущего из ослабленного слоя с глубины около 12 км. Другая ветвь центрального канала выходит в 200 км от месторождения Далит, юго-восточнее о. Кипр.

Так как внутри ослабленных слоев (волноводов) периодически могут возникать вертикальные движения флюидов, захватывающие вышележащие слои, присутствие их в средней коре приводит к определенным геологическим последствиям (Дмитриевский и др., 1997). Вертикальные движения как бы «промывают» весь осадочный покров, увлекая за собой УВ. В итоге УВ, рассеянные первоначально по всему объему осадочного покрова, могут концентрироваться в ограниченных зонах, образуя скопления.

Таким образом, исследование глубинного строения нефтегазоносных бассейнов Средиземноморья по магнитометрическим данным позволило зафиксировать в средней части земной коры расслоенность среды и выделить слабомагнитные линзы флюидонасыщенных слоев. Кроме того, на известных месторождениях газа и нефти восточной части моря Леванта идентифицированы треки углеводородной проработки, образующиеся под действием восходящего потока тепла и флюидов.

В литосфере Балеарского, Тирренского, Ионического морей, в западной части моря Леванта и вблизи о. Крит выявлены аналогичные глубинные флюидопроницаемые каналы (рис. 2а), выходящие из флюидонасыщенных слоев средней коры. Весьма возможна высокая перспективность этих зон на УВ. Кроме того, на разрезе по профилю 2 (рис. 2б) прослеживается несколько треков флюидопроницаемых каналов вдоль южного побережья Средиземного моря. Возможно, что ареалы выходов каналов у побережья Африки являются перспективными для поиска и разведки зон скопления УВ.

## ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ

Геотермальная энергия относится к возобновляемым энергетическим ресурсам, области ее проявления приурочены к районам тектонической активности. Проведем изучение строения зон геотермальной активности на примере региона Тирренского моря. Тирренское море представляет собой тектоническую котловину глубиной в центральной части до 3719 м. Положение границы М по данным (Grad et al., 2009) предполагается на глубинах менее 15-20 км, что означает высокое залегание мантии (рис. 1).

Наиболее глубоко граница М расположена под Альпами, наименьшее ее погружение зарегистрировано для центральной части котловины Тирренского моря. Построенное распределение положения очагов мантийных землетрясений (рис. 1) по данным каталога Геологической службы США (USGS) показывает близость центров аномального поднятия границы М и центра зоны глубинных землетрясений и, по-видимому, является свидетельством того, что эта зона глубокого заложения.

Для исследования областей тектонически-активного региона со значительными проявлениями термальной активности в качестве эталонов выбраны наиболее известные места ее проявления – геотермальные поля Лардерелло и горы Амиата на континентальной части (Апеннинский полуостров, Италия), а также подводный вулкан Марсили в котловине Тирренского моря (рис. 1).

Геотермальные подземные резервуары Лардерелло и горы Амиата характеризуются температурами 200-350°C в интервале глубин 500-3500 м (Caso et al., 2010). Положение границы перехода хрупкое-пластичное состояние в коре под Южной Тосканой по оценкам разных авторов предполагается на глубинах 6-8 км и 8-10 км (Gianelli et al., 1997). При этом допускается, что хрупкое разрушение может происходить при очень высоких скоростях деформации, так как верхняя кора здесь характеризуется высоким

тепловым потоком, проявившимся на поверхности вблизи гидротермального поля Лардерелло и горы Амиата. Землетрясения в регионе в пределах коры отличаются магнитудами менее трех баллов по шкале Рихтера. При этом на глубинах 8-10 км они почти исчезают, что может указывать на изменение реологических свойств коры, и является маркером поверхности реологически измененных пород. Практически на этой же глубине отмечается увеличение проводимости по данным магнитотеллурических зондирований (Gianelli et al., 1997). Во всем районе отмечена высокая проводимость в метаморфических формациях верхней коры, а также в средней и нижней коре, где значения сопротивлений более нескольких сотен Ом·м нигде не встречаются. Наиболее вероятными причинами этого предполагаются минерализованные флюиды и частичное плавление вещества (Jones, 1992).

Детальные исследования самого крупного в Европе подводного вулкана Марсили проводились как в России, так и за рубежом (Беляев и др., 1989, 1991; Cella et al., 2008). С конца 1960-х годов началось его исследование как источника геотермальных вод (Caso et al., 2010). Установлено, что разогретые магматические постройки расположены на глубинах менее 10 км, тепловой поток в окрестности вулкана Марсили значительно повышен ( $250 \text{ мВт/м}^2$  при региональном фоновом значении  $120 \text{ мВт/м}^2$ ), а непосредственно над вулканом Марсили он достигает  $500 \text{ мВт/м}^2$  (Вержбицкий, 2007).

Сопоставление положения выбранных эталонов с мощностью коры по сейсмическим данным и положением очагов мантийных землетрясений (рис. 1) показало следующее. Континентальные геотермальные поля Лардерелло и горы Амиата находятся в зоне поднятия границы М, но не в непосредственной близости от положения очагов глубинных мантийных землетрясений. Вулкан Марсили расположен в области как значительного поднятия границы М, так и в непосредственной близости от очагов широкофокусных землетрясений, достигающих глубины 100 км. На основании этих данных можно допустить, что подпитка выбранных эталонов – вулкана Марсили, Лардерелло и горы Амиата – осуществляется из единой зоны глубинного заложения.

Исследование зон проявлений геотермальной активности в рассматриваемом регионе выполнено вдоль системы профилей (рис. 1) по магнитным аномалиям ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> мировой цифровой карты WDMAM 2007 Италии и соседних областей (Chiappini et al., 2000). Для каждого из профилей выполнен геомагнитный разрез (рис. 4а-в). Профиль 6 проходит через Лардерелло, далее через котловину Тирренского моря с аномальным поднятием границы М и среднюю часть зоны мантийных землетрясений, а затем пересекает Сицилию. Профиль 7 пересекает геотермальное поле горы Амиата, следует через край зоны мантийных землетрясений и проходит через западный берег Сицилии. Профиль 8 начинается в Лигурийском море, идет по Корсике, далее следует через центр зоны глубинных землетрясений, пересекает область подводного вулкана Марсили и южную часть Апеннинского полуострова и заканчивается в Ионическом море. Такая система профилей выбрана не только с целью установления характера проявления геотермальной активности в структуре аномального магнитного поля, но и с целью изучения специфики магнитных неоднородностей литосферы в области регистрации очагов наиболее широкофокусных землетрясений.

На разрезе по профилю 6 геотермальное поле Лардерелло (рис. 4а) проявляется в виде серии слабомагнитных линз, выстроенных субвертикально. Положение сейсмической границы Конрада совпадает с кровлей размагниченной линзы на глубине порядка 8 км. Это позволяет ассоциировать ее с началом зоны перехода хрупкое–пластичное состояние пород. На геомагнитном разрезе видно, что подпитка месторождения осуществляется с глубин более 30–35 км, а флюидонасыщенный поток, поднимающийся к глубинам 15–20 км, делится далее на 4 широкие струи. Одна из струй уходит в северо-западную часть профиля. Вторая выходит к провинции Лардерелло. Третья следует к области очагов глубоких землетрясений, а четвертая – в юго-восточную часть профиля. На глубинах 8–12 км указанные струи делятся на ряд более узких струй, которые в интервале глубин 4–6 км вновь разбиваются на серию еще более узких треков, поднимающихся к поверхности субвертикально.

Геомагнитный разрез по профилю 7 (рис. 4б) проходит через геотермальное поле горы Амиата и западную часть Сицилии. На представленном разрезе проявился ряд протяженных размагниченных линз на глубине 40–45 км. На глубине 30–35 км флюидонасыщенный поток делится на две широкие струи, одна из них следует к Апеннинскому полуострову, вторая – субвертикально в юго-восточную часть профиля. В интервале 15–20 км эти струи дробятся на ряд более узких, а в интервале 8–12 км – на еще более узкие треки. После очередного деления на глубинах 4–6 км, одна из струй субвертикально поднимается к геотермальному полю у горы Амиата. Из построенных геомагнитных разрезов следует, по нашему мнению, что подпитка геотермальных полей Лардерелло и горы Амиата действительно осуществляется из единого источника с глубины более 20 км.

ФЛЮИДНЫЕ СИСТЕМЫ СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ

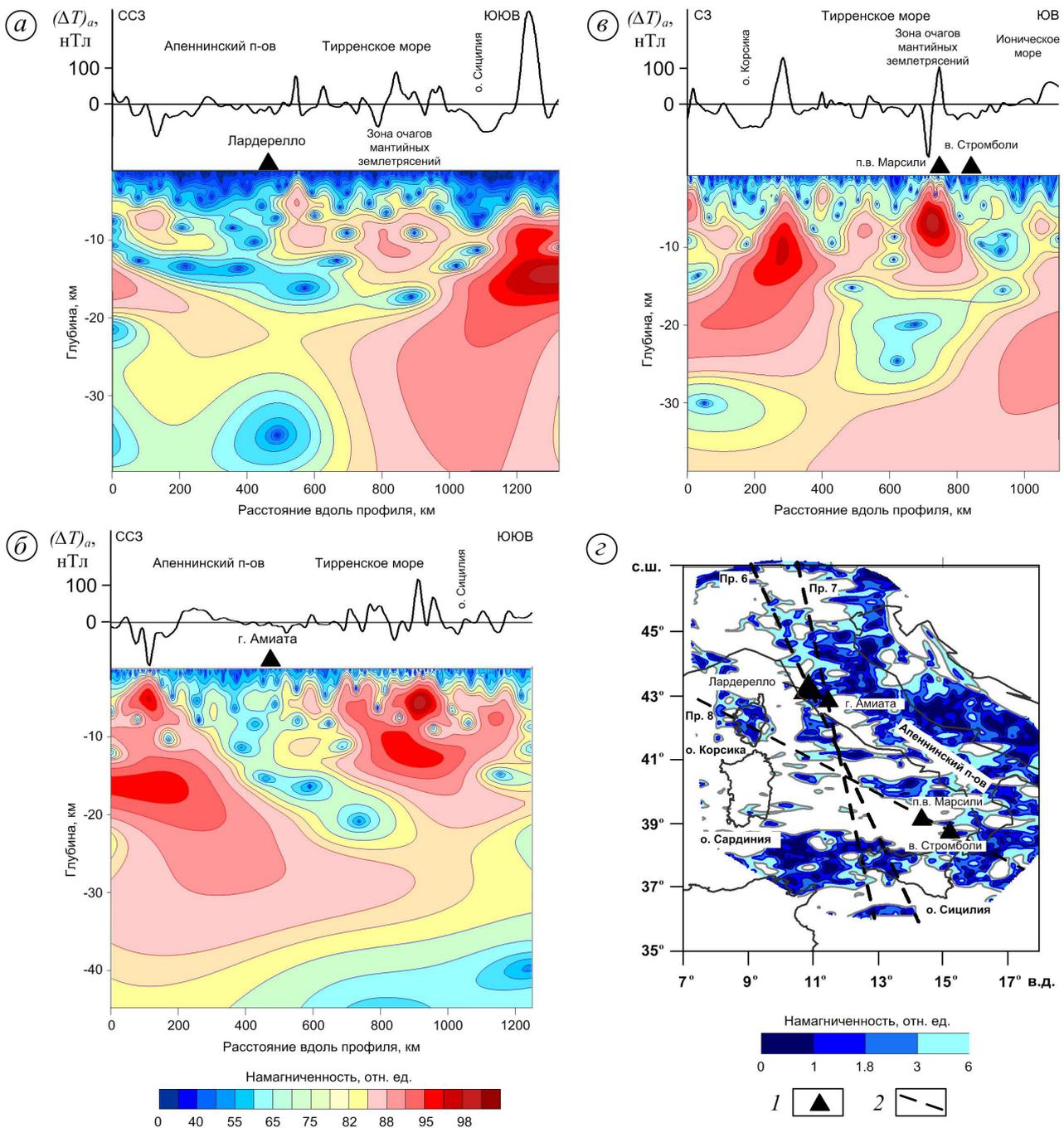


Рис. 4. Геомагнитные разрезы по профилям 6 (а), 7 (б) и 8 (в) и площадное распределение слабомагнитных зон на глубине 5 км (г): 1 – места проявления геотермальной активности; 2 – профили по материалам Мировой карты WDMAM 2007.

Глубина расположения размагниченных линз и деления восходящего флюидного потока по профилю 8 (рис. 4г) та же, что и для предыдущих разрезов 6 и 7. Анализируя пути восхождения флюида к поверхности можно предположить, что основная часть флюидизированного потока поднимается, в основном, с юго-восточной стороны от вулканической постройки Марсили с глубины более 20-25 км. Зона положения очагов мантийных землетрясений на этом разрезе фиксируется в виде суб-вертикальной системы размагниченных линз.

Помимо подводного вулкана Марсили, профиль проходит через известный действующий островной вулкан Стромболи. Он извергается с периодичностью 10-20 минут на протяжении многих сотен лет (Speranza et al., 2008). На разрезе этот вулкан представлен в виде вертикального трека, поднимающегося с глубины около 4 км, который имеет подпитку из области пониженной намагнитченности с центром на глубине порядка 10 км. Сопоставление положения этой области с положением границы М (рис. 1) показало, что она расположена в мантии. Таким образом,

подпитка вулкана Стромболи осуществляется в пульсирующем режиме мантийным веществом.

В результате сопоставления особенностей глубинного строения зон геотермальной активности Тирренского моря с другими регионами, в частности, с районом Прибайкалья (Копытенко и др., 2011) и Запада США (Петрищев и др., 2011), установлено, что струйный характер проявления трекков на разрезах и интервалы глубин дробления флюидизированного потока на трекки носят идентичный характер. Это говорит о том, что на отмеченных интервалах глубин 4-6 км может происходить сходное изменение вещественного состояния пород. По комплексу признаков (низкая намагниченность, высокая электропроводность, пониженная плотность и скорость сейсмических волн) эти слои идентифицированы как реологически ослабленные (Киссин, 2009; Копытенко и др., 2011; Петрищев и др., 2011).

С целью выявления ареалов флюидопроницаемых каналов на рассматриваемой площади по аномалиям WDMAM построено площадное распределение слабомагнитных зон для глубины 5 км (рис. 4з). Оно показало, что геотермальные поля Лардерелло и горы Амиата, помимо единого глубинного центра разогрева, имеют связную структуру и на глубинах около 5 км в виде элемента флюидной системы в верхней части земной коры. Подпитка этих геотермальных полей, видимо, осуществляется из выявленного канала пониженной намагниченности северо-восточного простирания. Построенное распределение отражает положение зон, перспективных на использование геотермальной энергии в практических целях.

Таким образом, по результатам исследования глубинного строения зон геотермальной активности региона Тирренского моря можно сделать следующие выводы:

- в средней коре термальных зон, как и в нефтегазоносных областях, зафиксирована расслоенность среды и выделены слабомагнитные зоны внутри ослабленных слоев;

- в областях гидротермальных месторождений установлен струйный характер проявления трекков и определены интервалы глубин деления флюидизированных каналов, которые идентичны результатам, полученным в других регионах.

## ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ

Обобщение результатов анализа магнитометрических данных по Средиземноморью показало следующее. В рассматриваемом регионе граница смены вертикальной раздробленности на латеральную расслоенность расположена на глубине около 10 км и соответствует подошве

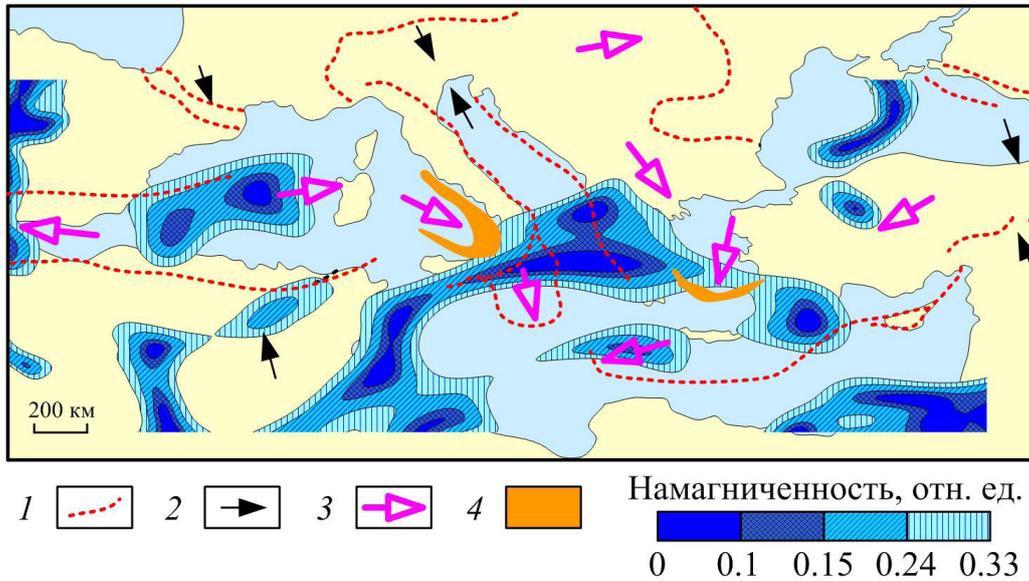
верхней части коры. Учитывая, что трекки температурной проработки выделяются на геомагнитных разрезах в верхней части коры, а подводящие каналы подходят к этой границе из средней части коры, можно предположить, что вместе с ослабленными слоями средней части коры они представляют собой некую единую флюидную систему. Вся система связана между собой каналами реологически ослабленного вещества, изменение которого происходит в результате процесса динамотермального метаморфизма пород. Этот процесс ведет к флюидонасыщению пород ослабленных слоев средней части коры (Павленкова, 2001) и поэтому, в целом, такие системы по данному признаку могут быть идентифицированы как флюидные.

Как же устроены эти системы в глубинном плане? Представленное ранее площадное распределение ареалов слабомагнитных трекков в верхней коре термальной зоны на отметке 5 км (рис. 4з) показывает на достаточно широкое проявление и значительную активность этой системы в верхней коре. Можно предположить, что фиксируемая смена характера раздробленности коры с вертикальной на латеральную с одновременным увеличением линейных размеров неоднородностей с глубиной (в связи с гомогенизацией среды) могут принципиально изменять картину внутреннего строения флюидной системы в средней и нижней коре.

С целью проверки выдвинутых предположений выполнен площадной расчет намагниченности и построена схема распределения слабомагнитных ареалов для глубины 20 км в рамках рассматриваемого региона. Расчет выполнен по магнитным аномалиям для высоты 100 км (спутник CHAMP) (Mandea, Thebaud, 2007). На рис. 5 представлены наименее намагниченные области, которые здесь предположительно ассоциируются с наиболее сильными проявлениями температурных процессов Средиземноморья.

Построенное распределение выявило на глубине 20 км ряд крупных элементов флюидных систем: связную область с двумя центрами в районе Балеарского моря, линейно-вытянутый канал в районе Африкано-Сицилийского порога (рис. 1), изометрическую область в котловине Ионического моря, две области на территории Турции и ее юго-западного побережья, а также обширную зону сложного строения в юго-восточной части моря Леванта и др. Субширотный сейсмический профиль (Ismail-Zadeh et al., 2010) пересекает слабомагнитный канал в районе о. Сицилия и фиксирует наличие пониженных скоростей в интервале глубин от 20 до 30 км. Из этого следует, что на таких глубинах действительно имеется ослабленная зона реологически измененного вещества.

## ФЛЮИДНЫЕ СИСТЕМЫ СРЕДИЗЕМНОМОРЬЯ



**Рис. 5.** Сопоставление положения слабомагнитных зон на глубине 20 км с тектоническими особенностями региона (Хаин и др., 1998): 1 – Альпийский фронт; 2 – области повышенного сжатия; 3 – направление латерального выжимания масс; 4 – вулканические островные дуги.

Сопоставим результаты расчета с тектоническими особенностями региона (Хаин и др., 1998), представленными на рис. 5. Следует отметить, что формирование областей в районе Балеарского моря, территории Турции, котловины Ионического моря и фрагмента канала в центральной части Африкано-Сицилийского порога, вероятнее всего, связано с разломной тектоникой блоков земной коры и с латеральным выжиманием вещества. Сравнение характера расположения слабомагнитных ареалов с тектоническим режимом Средиземного моря подчеркнуло основные особенности строения, влияющие на размещение природных ресурсов региона. В качестве примера рассмотрим результаты сопоставления выявленных слабомагнитных зон флюидных систем с расположением известных углеводородных и геотермальных месторождений.

Так, ряд известных крупных газовых месторождений юго-восточной части моря Леванта, месторождений УВ у побережья Туниса, группы месторождений УВ вблизи юго-восточной части побережья Италии и северо-западной части Валенсийского бассейна приурочены к центральным и средним частям ареалов с минимальными значениями намагниченности (рис. 5). Это свидетельствует о том, что зоны нефтегазоносных бассейнов тяготеют к проницаемым зонам глубокого заложения, что подтверждается геомагнитными разрезами, полученными по гидромагнитным измерениям (рис. 2, 3). Обнаружение таких ослабленных зон в коре нефтегазоносных бассейнов позволяет предположить долгоживучесть и возобновляемость этих месторождений за счет глубинной подпитки.

В то же время, сопоставление слабомагнитных ареалов Средиземноморья с областями проявления геотермальной активности показало, что они приурочены к периферийной части зон флюидной системы (рис. 5). Наибольший интерес для нас представляла область юго-восточного сектора Тирренского моря, для которой приведены исследования по системе пересекающихся профилей (рис. 4). Согласно работе В.Е. Хаина с соавторами (1998) в этом секторе выделена вулканическая островная дуга, фронт которой совпал с периферийной частью канала, проходящей через Африкано-Сицилийский порог. Именно в этом секторе проводятся исследования по разведке термальных вод подводного вулкана Марсили (Caso et al., 2010). Постановка здесь поисковых работ целесообразна с точки зрения распределения давлений в земной коре. Считается, что миграция термальных вод, создаваемая в зоне поддвига литосферных плит, осуществляется, во-первых, за счет избыточных закритических давлений и, во-вторых, за счет процесса дегидратации океанической коры (Дмитриевский и др., 1997). При этом возникший поток термальных вод всегда будет направлен в сторону уменьшения давления. По результатам нашего исследования можно предположить наличие аналогичных подводных месторождений геотермальных вод в окрестностях позднекайнозойской вулканической островной дуги между Грецией и Турцией.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование строения Средиземного моря по геомагнитным данным позволило выявить

в нефтегазоносных бассейнах флюидонасыщенные зоны в ослабленных слоях земной коры с низкой намагниченностью, а также флюидоподводящие каналы, подпитывающие месторождения осадочного чехла. В зоне высокой термальной активности зафиксированы восходящие треки теплового потока термальных зон. На основе изучения известных месторождений показана роль элементов флюидных систем в подпитке нефтегазовых и геотермальных месторождений.

Анализ глубинных геомагнитных разрезов помог раскрыть роль флюидной концепции в процессе нефтегазообразования, так как именно величина намагниченности геологических образований зависит от температуры сильнее, чем другие параметры среды, такие как пористость, трещиноватость и флюидонасыщенность.

Построение площадных распределений слабомагнитных зон и сопоставление их с тектоническими особенностями Средиземноморья позволило выработать прогнозный критерий мелкомасштабных поисковых работ.

#### Список литературы

- Баткова Л.А., Боярских В.Г., Демина И.М.* Комплексная база данных компонент геомагнитного поля на акватории океанов по результатам съемок, выполненных на немагнитной шхуне «Заря» // Геомагнетизм и аэронавигация. 2007. Т. 47. С. 571-576.
- Беляев И.И., Брусиловский Ю.В., Городницкий А.М. и др.* Детальное геомагнитное изучение подводной горы Марсила (Тирренское море) // Океанология. 1989. Т. 23. Вып. 1. С. 81-84.
- Беляев И.И., Брусиловский Ю.В., Городницкий А.М. и др.* Геомагнитное изучение подводных гор Тирренской котловины // Бюлл. МОИП. Отдел геол. 1991. Т. 66. Вып. 3. С. 45-61.
- Вержбицкий Е.В.* Тепловой поток и вещественный состав литосферы Мирового океана // Океанология. 2007. Т. 47. № 4. С. 605-612.
- Дмитриевский А.Н., Баланюк А.В., Каракин А.В. и др.* Флюидодинамическая модель формирования залежей углеводородов в зоне коллизии литосферных плит // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 1997. № 3. С. 19-28.
- Карасик А.М., Л.Г. Касьяненко Л.Г., Цуцкарев Б.М. и др.* Морские геомагнитные исследования на НИС «Заря». М.: Наука, 1986. 184 с.
- Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. 328 с.
- Копытенко Ю.А., Петрова А.А., Петрищев М.С.* Глубинное строение ослабленных зон Прибайкалья // Вопросы и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 38-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского. Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. С. 140-142.
- Ларочкина И.А.* Рациональная методика поисков и разведки залежей нефти в нефтегазоносных комплексах // Георесурсы. 2008. Т. 27. № 4. С. 6-9.
- Мавричев В.Г., Петрова А.А.* Крупномасштабная аэромагнитная съемка осадочных бассейнов // Разведка и охрана недр. 2001. № 9. С. 14-18.
- Мавричев В.Г., Козеев С.И., Петрова А.А. и др.* Роль аэрогеофизической съемки в решении нефтегазопроисловых задач // Разведка и охрана недр. 2002. № 12. С. 4-9.
- Маловицкий Я.П., Осипов Г.В.* Аномальное магнитное поле Средиземного моря и его возможная геологическая природа // Геофиз. сб. АН УССР. 1975. Вып. 65. С. 37-49.
- Москаленко В.Н.* Строение земной коры Средиземного моря по сейсмическим данным. М.: Наука, 1981. 110 с.
- Павленкова Н.И.* Структура земной коры и верхней мантии и механизм движения глубинного вещества // Вестник ОГГГГ РАН. 2001. № 4(19). 18 с. (Электронный научно-информационный журнал).
- Петрищев М.С., Петрова А.А., Копытенко Ю.А.* Глубинное строение термальных зон по результатам комплексирования геофизических полей // Вопросы и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 38-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского. Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. С. 219-222.
- Петрова А.А.* Методика спектрально-корреляционного анализа аномального геомагнитного поля // Автореф. дисс. канд. ф.-м. наук. М.: ИЗМИРАН. 1976. 25 с.
- Петрова А.А.* О влиянии рельефа фундамента на спектральную структуру аномального магнитного поля континентальных и океанических регионов // Геомагнитное поле и внутреннее строение Земли. М.: ИЗМИРАН, 1980. С. 137-144.
- Петрова А.А., Демина И.М.* Строение нефтегазоносных зон Северного моря по магнитометрическим данным // Материалы XVIII международной научной конференции (школы) по морской геологии. «Геология морей и океанов». М., 2009. Т. II. С. 82-86.
- Петрова А.А., Баткова Л.А.* Гетерогенность земной коры морей Западной Атлантики по магнитометрическим данным // Материалы междунар. конф. «Пятые научные чтения Ю.П. Булашевича. Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интер-

- претация геофизических полей». Екатеринбург: ИГ УрО РАН, 2009. С. 388-392.
- Петрова А.А., Демина И.М., Баткова Л.А.* Неоднородности строения земной коры Средиземноморья по результатам анализа измерений геомагнитного поля // Материалы XVIII международной научной конференции (школы) по морской геологии. «Геология морей и океанов». М., 2009. Т. V. С. 119-223.
- Хаин В.Е., Леонов Ю.Г., Брежнев В.Д. и др.* Некоторые особенности фанерозойской тектоники Европы в новом издании Международной тектонической карты Европы // Вестник ОГГГ РАН. 1998. № 1(3). 14 с. (Электронный научно-информационный журнал).
- Харахинов В.В., Шленкин С.И., Зеренинов В.А. и др.* Нефтегазоносность докембрийских толщ Куюмбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазонакопления // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6. № 1. 31 с. (Электронный научный журнал).
- Caso C., Signanini P., De Santis A. et al.* Submarine geothermal systems in southern Tyrrhenian Sea as a future energy resource: the example of Marsili seamount // Proceedings world geothermal congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April. 2010. P. 3709-3717.
- Cella F., Fedi M., G. Florio et al.* A review of the gravity and magnetic studies in the Tyrrhenian Basin and its volcanic districts // Annals of geophysics. 2008. V. 51. №. 1. P. 1-23.
- Chiappini M., Meloni A., Boschi E. et al.* On shore-off shore integrated shaded relief magnetic anomaly map at sea level // Annali di Geophysica. 2000. V. 43. № 5. P. 983-989.
- Eppelbaum L., Katz Y.* Tectonic-geophysical mapping of Israel and the Eastern Mediterranean: Implications for hydrocarbon prospecting // Positioning. 2011. V. 2. №. 1. P. 36-54.
- Gianelli G., Manzella A., Puxeddu M.* Crustal models of the geothermal areas of southern Tuscany (Italy) // Tectonophysics. 1997. V. 281. P. 221-239.
- Grad M., Tiira T., ESC working group.* The Moho depth map of the European Plate // Geophys. J. Int. 2009. V. 176. P. 279-292.
- Ismail-Zadeh A., Aoudia A., Panza G.F.* Three-dimensional numerical modeling of contemporary mantle flow and tectonic stress beneath the Central Mediterranean // Tectonophysics. 2010. V. 482. P. 226-236.
- Jones A.G.* Electrical properties of the lower continental crust / Fountain, D.M., Arculus, R., Kay, R.W. (Eds.), Continental Lower Crust. Developments in Geotectonics, Elsevier, Amsterdam, 1992. V. 23. P. 81-143.
- Mandea M., Thebault E.* The Changing Faces of the Earth's Magnetic Field. Paris: IPGP, 2007. 48 p.
- Petrova A.A., Demina I.M.* Features of the Earth's crust structure of oil-gas pools of the North Sea on the base of magnetic data // Proceedings EAGE of 4th Saint Petersburg International Conference & Exhibition. Saint Petersburg: EAGE, 2010. P. 143.
- Speranza F., Pompilio M., Caracciolo F.D. and Sagnotti L.* Holocene eruptive history of the Stromboli volcano: Constraints from paleomagnetic dating // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. B09101. 23 p. doi:10.1029/2007JB005139
- USGS Earthquake Hazard Program (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqs/>)

## FLUID SYSTEMS OF THE MEDITERRANEAN

**A.A. Petrova, M.S. Petrishchev**

*Saint-Petersburg Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Waves Propagation of Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, 191023*

The article presents an investigation of heterogeneities of the internal structure of the earth's crust in the Mediterranean region. The study is based on the data analysis from hydromagnetic survey, magnetic anomalies of WDMAM 2007 and CHAPM satellite. A depth of the earthquakes focuses and seismic boundaries have been associated with position of marking horizons on the geomagnetic sections. Using the data from near-surface and satellite magnetic measurements we constructed the distribution of low-magnetic areas of fluid systems for the depths 5 and 20 km. Comparison of these areas' location and the tectonic mode has underlined the basic features of the Mediterranean structure that influence natural resources distribution in the region. Based on the known deposits studying of Levant and Tyrrhenian seas the role of fluid systems in feed of oil-and-gas and geothermal deposits is shown. Results from studies were used for completing the regional criteria of small-scale forecast for organization of geological prospecting for oil, gas and geothermal deposits in the Mediterranean region

*Keywords: geomagnetic field, fluid systems, oil, gas, geothermal deposit*