

Применение магниторазведки для поисков залежей нефти и газа на перспективных площадях Азербайджана

© В. Г. Гадиров, 2013

НИПИ «Нефтегаз», Баку, Азербайджан

Поступила 30 января 2013 г.

Представлено членом редколлегии М. И. Орлюком

Розглянуто питання застосування магніторозвідки для пошуків нафтогазових покладів в умовах Азербайджану. Проаналізовано мікроструктури спостереженого магнітного поля над родовищами Середньокуринської западини. Встановлено відповідність контурів локальних магнітних мінімумів і покладів вуглеводнів (ВВ). Для обґрунтування доцільності застосування магніторозвідки під час пошуків покладів ВВ в умовах Азербайджану детально вивчено особливості зміни фізичних властивостей порід по латералі і вертикалі в розрізах родовищ Мурадханлі і Джафарлі. Згідно з аналізом даних щодо магнітних властивостей порід у «порожніх» і нафтоносних свердловинах, магнітна сприйнятливість порід над і під покладами ВВ різко розрізняється. Для з'ясування особливостей магнітного поля над родовищами нафти і газу в Середньокуринській западині виконано модельні роботи на зазначених родовищах.

The problems of magnetic survey for search of oil and gas deposits in Azerbaijan are discussed. Microstructures of magnetic field observed over deposits of the Middle Kura depression have been analyzed. Correspondence of outlines of the local magnetic minima and hydrocarbon deposits has been found. In order to justify the use of magnetic exploration in the search for hydrocarbon deposits in Azerbaijan the features of changes in physical properties of rocks laterally and vertically in sections of Muradkhanli and Jafarly fields have been studied in details. Analysis of the data on the magnetic properties of rocks of the «empty» and oil wells has shown that the magnetic susceptibility of rocks above and below the hydrocarbon deposits differs dramatically from those ones of the environments surrounding the reservoir. To clarify the features of the magnetic field on the oil and gas deposits in the Middle Kura depression modeling on the known deposits performed.

Введение. Поиск и разведка нефтегазоносных структур — одни из самых сложных геологических задач, для решения которых, как правило, применяются различные геофизические методы исследований (сейсмические, гравиметрические, магнитометрические, электрометрические), а также их комплексирование.

В 1959 г. в Венгрии при поисках нефтегазовых месторождений наряду с грави- и сейсморазведкой была применена и магнитометрическая разведка. Результаты последней сводились к выявлению узких магнитных максимумов на разведочных площадях региона.

В последующем на перспективных площадях были выявлены новые поисковые признаки магниторазведки, в частности «магнитные минимумы», которые отмечались над продуктивными частями структур, интенсивностью от 15 до 50 нТл [Лапшов, 1975]. Экспериментальные исследования, проведенные в Днепровско-Донецкой и Среднекуринской впадинах, Предкарпатье, северо-западной части Карпатского

прогиба, Пермском Прикамье указали на снижение интенсивности магнитного поля над месторождениями нефти и газа [Гершанок, 1981; Кузнецова и др., 1981; Гадиров, 1987, 1991, 1996; Maksymchuk et al., 2012]. На нефтегазовых месторождениях Западной Сибири (в частности, на Горелой площади) были выявлены отрицательная гравитационная и положительная магнитная аномалии [Мегеря и др., 2003].

Обоснование характера магнитных аномалий над залежами углеводородов. Причина возникновения магнитных аномалий над месторождениями углеводородов (УВ) объясняется по-разному. Установлено, что УВ сильно влияют на изменение физических и химических свойств пород, содержащих и окружающих залежи. Еще в 1908 г. Дж. Харрисом в породах, перекрывающих нефтяные залежи (в Луизиане), было обнаружено присутствие пирита и некоторых других сульфидов. В 1922 г. Ф. Ривз, исследуя нефтяное месторождение Цемент в Оклахоме, обратил внимание на то, что осадоч-

ные породы под влиянием УВ могут изменять свой цвет. В 1979 г. Т. Донован и его коллеги установили, что вторичные изменения осадочных пород, в том числе и их намагниченность, могут быть обусловлены миграцией в них УВ [Бабаянц и др., 2006].

В залежах УВ происходят определенные физико-химические процессы, способствующие созданию вертикальной направленности электрических токов. А это, в свою очередь, формирует над залежами УВ участки или зоны, которые отличаются от окружающих пород своими магнитными и тепловыми характеристиками [Сейфулин, 1980]. На основе фактических материалов были установлены изменения магнитных свойств пород над залежами нефти и газа структурного типа [Березкин и др., 1982]. Группой исследователей из США определено, что в осадочных отложениях на небольших глубинах скапливаются магнитные минералы маггемит ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$), грейгит (Fe_3S_4), образующиеся в результате действий нефтегазовых залежей [Foote, 1996]. Полагают, что вблизи нефтегазовых залежей образуется газово-пузырьковый конвективный механизм, который своим действием захватывает подвижные частицы тяжелых металлов. В результате над нефтегазовыми залежами формируются кольцеобразные аномалии в форме «струйных» ореолов рассеяния тяжелых металлов [Путиков и др., 2000]. При взаимодействии УВ с вмещающими породами над залежами нефти и газа происходит как бы образование субвертикальных неоднородностей вторичных минеральных источников, что и отражается на параметрах геофизических полей [Устинова, 2002]. Были проведены исследования для выявления возможной генетической связи между магнитной восприимчивостью разных типов пород и местами скопления и прохождения УВ. В результате установлено увеличение магнитной восприимчивости пород, насыщенных флюидом, также различные связи нефтегазоносности коры с ее намагниченностью [Орлюк, Друкаренко, 2010; Орлюк, Пашкевич, 2011].

Все эти материалы свидетельствуют, что под действием УВ в пределах залежи и выше происходят изменения магнитных свойств пород, что приводит к возникновению аномалий в магнитном поле от нескольких до десятков нанотесла.

Базируясь на этих представлениях, во многих странах мира проводились и проводятся магнитометрические (наземные и аэромагнитные) съемки (в комплексе с другими геофизи-

ческими методами) для прогнозирования площадей, в разрезах которых имеются скопления УВ [Березкин и др., 1982; Гадиров, 1991; 1996; Foote, 1996; Бабаянц и др., 2006; Maksymchuk et al., 2012].

Анализы микроструктуры и морфология магнитного поля. Начиная с 1975 г. (с перерывом в отдельные годы), в Куринской межгорной впадине проводится наземная магнитометрическая съемка в комплексе с гравиразведкой с измерением вертикальной и полной составляющих геомагнитного поля.

Результаты магнитометрических исследований, выполненных в Среднекуринской впадине, свидетельствуют, что над залежами УВ (Мурадханлы, Джафарлы, Альвенд, Тарсдалляр и др.) наблюдается понижение интенсивности магнитного поля (ΔZ , ΔT) на несколько десятков нанотесла. Анализ особенностей магнитного поля по профилям показывает, что все отрицательные аномалии, связанные с залежью, выделяются на общем фоне максимума II порядка (табл. 1) [Гадиров, 1987; 1991; Gadirov, 1994].

Аномалии в геомагнитном поле, выделенные на наблюдаемых кривых, на месторождениях Среднекуринской впадины обычно характеризуются сложной структурной формой, что свидетельствует о неравномерном распределении магнитных свойств пород в геологическом разрезе. На вертикальной (ΔZ) и полной (ΔT) составляющих геомагнитного поля появляются изрезанные, «пилообразные» формы. Размеры и контуры выделенных магнитных минимумов на фоне максимумов по вертикальной составляющей полностью соответствуют контурам залежей, а аномалии по полной составляющей геомагнитного поля на пл. Джафарлы и Тарсдалляр оказываются несколько смещенными в сторону (см. табл. 1). Одновременно в магнитном поле выделяются градиентные зоны, соответствующие законтурной части залежи, с помощью которых можно восстановить относительные максимумы и на их фоне выделить локальные минимумы. Установлено, что в Среднекуринской впадине магнитные максимумы морфологически связаны со структурами, сложенными образованиями вулканогенного происхождения и имеющими высокую магнитную восприимчивость (Мурадханлы, Джафарлы, Альвенд, Тарсдалляр). Выделенные отрицательные аномалии на фоне максимумов морфологически связаны с залежью УВ и субвертикальной зоной над и под залежью, имеющими относительно меньшую магнитную восприимчивость по сравнению с боковыми

Таблица 1. Особенности изменения геомагнитного поля (ΔZ и ΔT) по профилям на месторождениях Азербайджана

Месторождение (профиль)	Характер магнитного поля	Интенсивность, нТл		Глубина залегания залежи, м	Мощность залежи, м	Соответствие контуров магнитных аномалий и залежей
		Локальных максимумов	Локальных минимумов			
Мурадханлы (пр. 01—81)	Локальный максимум (ΔZ), выделенный из наблюдаемого поля региональным фоном и резкими градиентами. На фоне максимума сложный, изрезанный локальный минимум	до 90	15—40	3000	30 (по скв. 44)	Соответствует
Мурадханлы (пр. 59—84)	То же	40—60	15—25	4000	100 (по скв. 23)	
Альвеца (зап. Мурадханлы) (пр. 02—81)	Локальный максимум (ΔZ), выделенный региональным фоном и осложненный двумя минимумами на левом крыле	40—70	25—35	4200—4400	≈30 (по скв. 203, 208)	—
Альвеца (зап. Мурадханлы) (пр. 06—81)	(ΔZ) Локальный максимум с резкими градиентами по краям, на фоне которого два локальных минимума	130	40	4600	—	—
Бозгобу (пр. 25—81)	Локальный максимум (ΔZ), на фоне которого выделяются локальные минимумы с различными интенсивностью и размерами	60	20—40	4700	80 (по скв. 1)	—
Джафарлы (пр. 60—84)	Локальный максимум (ΔZ), выделенный региональным фоном. На фоне максимума изрезанный локальный минимум, ограниченными градиентными зонами	до 50	30	4000	>100 (по скв. 2, 5, 22)	—
Джафарлы (пр. 61—84)	Локальный максимум (ΔZ), осложненный в середине локальным минимумом	68	44	3950	>100	—
Джафарлы (пр. АГП—2)	Локальный максимум (ΔZ), на левом крыле четкий минимум	80	>40	3950	>100	—
Джафарлы (пр. АГП—3)	Локальный максимум (ΔZ), на фоне которого локальных минимумов	50	15—30	4000	>100	Магнитный максимум смещен 2 км на север
Тарсдалляр (пр. 09—86)	Локальный максимум (ΔT), на фоне которого локальные минимумы	60	20—40	4000	>100	Соответствует
Тарсдалляр (пр. 07—86)	Локальный максимум (ΔZ), сложный, разделенный на три части. На фоне максимума локальный минимум	70	20—40	3500	—	Магнитный максимум смещен 2 км на юг
Тарсдалляр (пр. 07—86)	Локальный максимум (ΔT), более спокойный. На фоне локального минимума	90	35	3000	60 (по скв. 4)	Соответствует
Тарсдалляр (пр. 07—86)	Локальный максимум (ΔZ), сложный, изрезанный. На фоне максимума можно выделить локальный минимум	50	до 35			
Тарсдалляр (пр. 07—86)	Локальный максимум (ΔT), на фоне которого локальный минимум	60	30			

породами [Гадилов, 1991; 1996; Gadirov, 1994; Gadirov, Eppelbaum, 2012].

Соответствие контуров локальных магнитных минимумов и залежей УВ, в принципе, не поддерживает идею о распространении геофизических аномалий, созданных залежами по всему профилю наблюдений. И наоборот, оно указывает на четкое проявление залежей в геофизических полях, в том числе и геомагнитном.

Закономерности изменения магнитной восприимчивости пород в разрезах месторождений Среднекуринской впадины. Для обоснования целесообразности применения магниторазведки при поисках залежей УВ в условиях Азербайджана детально рассмотрены особенности изменения физических свойств пород (по латерали и вертикали) в разрезах месторождений Мурадханлы и Джафарлы. Установлено своеобразие изменений плотности, температуры и магнитной восприимчивости пород над и под залежью. Анализ данных о магнитных свойствах пород по «пустым» и нефтеносным скважинам, относящимся к различным стратиграфическим комплексам, показал, что магнитная восприимчивость пород над и под залежами УВ резко отличается от магнитной восприимчивости пород, окружающих залежи (табл. 2). Например, в отложениях абшерона и акчагыла среднее значение магнитной восприимчивости пород за и в пределах контура залежей — $60 \cdot 10^{-6}$ и $40 \cdot 10^{-6}$ СГС соответственно, т. е. при переходе в зону расположения залежи УВ магнитная восприимчивость уменьшается почти в 1,5 раза (по другим отложениям — в 2—8 раз). Такое распределение магнитной восприимчивости пород в геологическом разрезе, несомненно, создает весьма благоприятные предпосылки для эффективного применения магниторазведки при поисково-разведочных работах на нефть и газ в Среднекуринской депрессии.

Убежденность в этом исходит, прежде всего, из тех соображений, что именно наличие нефти и газа в разрезах приводит к изменению физических свойств пород (в том числе и магнитных). Анализируя литературные источники, можно прийти к выводу, что именно под влиянием УВ происходят довольно существенные физико-химические изменения в осадочных породах, приводящие к появлению локальных магнитных аномалий.

Модельные расчеты магнитных аномалий над месторождениями. Для выяснения особенностей проявления магнитного поля над месторождениями нефти и газа в Среднекуринской впадине были выполнены модельные работы

на известных месторождениях Мурадханлы и Джафарлы (рис. 1 и 2). Выбор этих площадей обоснован тем, что геологический разрез и петрофизические свойства пород по данным многочисленных глубоких скважин изучены на достаточно высоком уровне. Для вычисления магнитного эффекта была использована палетка Д. С. Микова в двумерном варианте.

Отметим, что теоретические модели разрабатывались и другими исследователями, получены довольно интересные результаты, в частности проявления заметных магнитных аномалий различной интенсивности от нефтегазонасной структуры, которые можно обнаружить с помощью детальных наземных и аэромагнитных съемок [Орлюк, Пашкевич, 2011].

Разрез Мурадханлинской складки сложен вулканогенными образованиями верхнемелового возраста с высокой магнитной восприимчивостью ($\chi_{\text{ср}} = 2500 \cdot 10^{-6}$ СГС). Покрывающие верхний мел палеоген-нижнемиоценовые осадочные отложения выклиниваются в направлении к сводовой части складки, среднемиоценовые отложения имеют более-менее спокойный горизонтальный характер (см. рис. 1). Для составления геомагнитной модели месторождения использованы данные, приведенные в табл. 2. При этом для нескольких горизонтов значения магнитной восприимчивости были осреднены. В полученном разрезе залежи оказались связанными с чокракским горизонтом на глубине 2700—2850 м (по скв. 3, 18) и верхнемеловыми эффузивными породами на глубине 3050—3150 м (по скв. 43, 3).

Удалось выяснить, что на пл. Мурадханлы теоретически вычисленный эффект субвертикальной зоны над залежью УВ достигает 15—20 нТл (рис. 1, кривая 1). Снижение магнитной восприимчивости под залежью в эффузивных образованиях создает дополнительный магнитный эффект более 20 нТл (рис. 1, кривая 2). Вся зона, связанная с залежью, создает магнитную аномалию около 40 нТл (рис. 1, кривая 3).

В отличие от месторождения Мурадханлы на пл. Джафарлы залежь оказалась связанной со среднеэоценовыми осадочными отложениями (рис. 2). Вулканогенные породы на этой площади вскрыты на глубине 4408 м только скв. № 7, расположенной на расстоянии около 1000 м южнее профиля. Поверхность вулканогенных пород в модели вычислена на основании гравимагнитных данных и сделана привязка к скважинам № 7 (Джафарлы) и № 1 (Каралы). Вычисленный магнитный эффект над и под залежью составляет 15 и 17 нТл соответственно. В то же

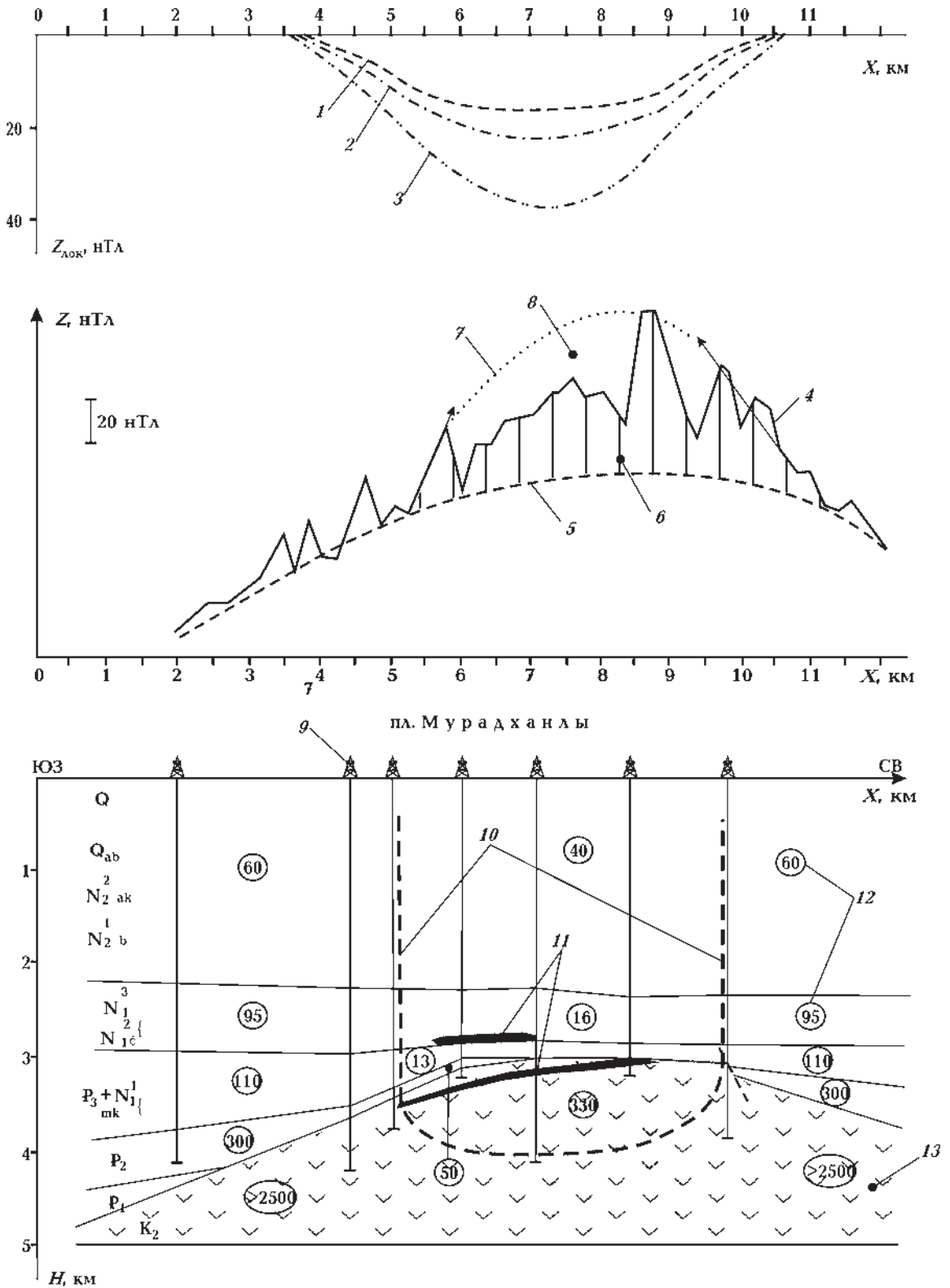


Рис. 1. Геомагнитное моделирование на пл. Мурадханлы (юго-восточная часть Среднекуринской впадины). Вычисленные геомагнитные эффекты субвертикальной зоны: 1 — над залежью; 2 — под залежью; 3 — всей субвертикальной зоны; 4 — наблюдаемая кривая магнитного поля; 5 — региональный фон; 6 — локальный максимум; 7 — восстановленный максимум; 8 — локальный минимум; 9 — глубокие скважины; 10 — границы субвертикальной залежной зоны; 11 — залежь нефти; 12 — осредненные значения магнитной восприимчивости по горизонтам ($60 \cdot 10^{-6}$ СГС); 13 — эффузивные образования.

Таблица 2. Распределение магнитной восприимчивости в геологическом разрезе пл. Мурадханлы (юго-восточная часть Среднеку-ринской впадины)

Возраст отложений и индексы	Литология	Глубина, м	Средняя мощность, м	Магнитная восприимчивость $\alpha \cdot 10^{-6}$, СГС		Относительные изменения магнитной восприимчивости $\Delta \alpha \cdot 10^{-6}$, СГС
				За контуром залежи	В пределах залежи	
Четвертичный Q	Песчаники, пески	0	400	—	—	—
Абшерон Q ab	Песчаники, глины, пески	400	1200	50	—	—
Акчакал N_2^2 ak	То же	1600	500	70	—	—
Продуктивная толща (Балаханский ярус) N_2^1	Глины с прослойками песчаников, песчаники	2100	200	60	40	20
Верхний миоцен N_2^3	Песчаники, глины	2300	500	98	15	83
Чокрак N_1^2 щ	Песчаники, прослойки мергелей и доломитов.	2800	50	65	16	49
Майкоп $P_3 + N_1^1$	Глины, алевролиты, прослойки песков и песчаников	2850	650	110	13	97
Эоцен P_2	Глины известковые, прослойки известняков и доломитов	3500	700	300	над залежью 13 (75)* под залежью 90 (120)*	287 (225)* 210 (180)*
Палеоцен P_1	То же	4200	50	650	214	436
Верхний мел, K_2	Ивестняки, аргиллиты, мергели, андезиты, базальты, порфириты	4250	>1000	>900 1100—4580	— 330	— >1000

Примечание: * — значение относится к пл. Джафарлы.

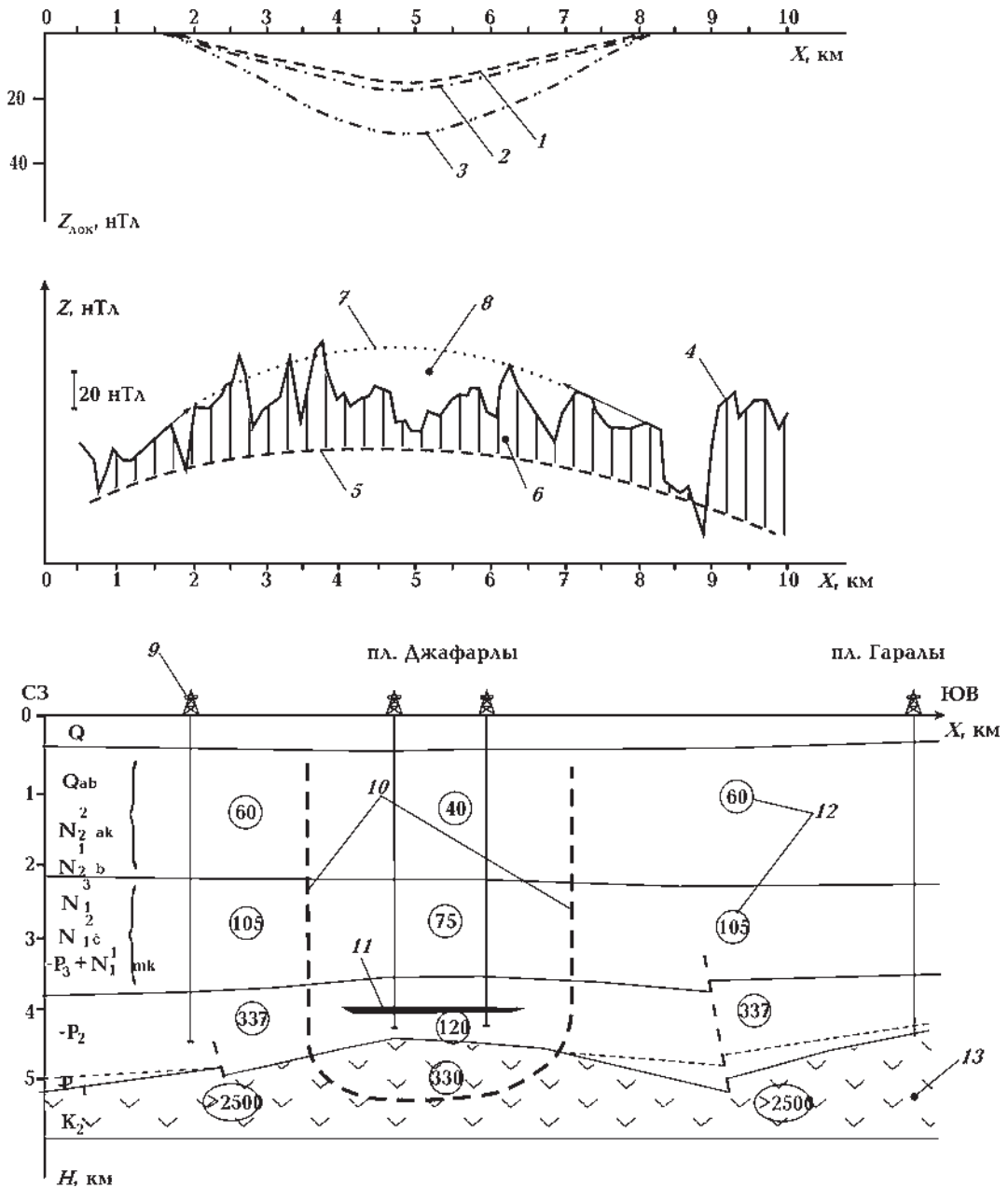


Рис. 2. Геоматнитное моделирование на пл. Джафарлы (юго-восточная часть Среднекуриинской впадины). Условные обозначения см. на рис. 1.

время следует отметить, что на обеих моделях теоретический эффект от самой залежи не показан. Это связано с тем, что по сравнению с эффектом от всей вертикальной зоны залежи, создающего аномалию в 30—40 нТл, эффект от залежи при мощности 100—150 м и глубине 3000 м ничтожен и не превышает 2 нТл.

Непосредственные измерения, выполненные на этих месторождениях (см. рис. 1 и 2, кривая 4), показывают, что над залежами УВ наблюдается относительное снижение напряженности магнитного поля до 30—40 нТл.

Совпадение по интенсивности и размеру вычисленных и наблюдаемых аномалий в целом свидетельствует о правильном составлении модели с учетом магнитных свойств пород.

Анализируя экспериментальные данные магниторазведки, полученных над месторождениями (см. табл. 1), характер распределения магнитной восприимчивости в геологическом разрезе (см. табл. 2) и модельные работы выполненные на структурах Мурадханлы и Джафарлы (см. рис. 1 и 2), можно сделать вывод о том, что магниторазведка с успехом может быть

применена для прогнозирования месторождений нефти и газа. Предпосылкой применения магниторазведки в Среднекуринской депрессии для поиска залежей нефти и газа является снижение магнитной восприимчивости пород по всей зоне расположения залежей.

Выводы. Наблюдается уменьшение магнитной восприимчивости пород не только в пределах залежей УВ, но и относительно пространственного их расположения (т. е. выше и ниже залежи);

– по результатам модельных работ установлено, что магнитные минимумы над залежами

УВ создаются не только самой залежью, а всей совокупностью параметров субвертикальной зоны залежи;

– залежи нефти и газа в геомагнитном поле отмечаются локальными минимумами, которые выделяются на наблюдаемом поле на основании изменения их горизонтальных градиентов;

– сравнительно большие величины локальных минимумов (30—40 нТл) в Среднекуринской впадине объясняются присутствием в геологическом разрезе вулканогенных пород и относительно сильным понижением в них магнитной восприимчивости (в зонах залежи).

Список литературы

- Бабаянц П. С., Блох Ю. И., Буш В. А. Интерпретация аэрогеофизических данных при поисках месторождений нефти и газа // Разведка и охрана недр. — 2006. — № 5. — С. 13—18.
- Березкин В. М., Лошаков А. И., Николаев М. И. Применение магниторазведки для поисков месторождений нефти и газа // Прикл. геофизика. — 1982. — Вып. 103. — С. 128—136.
- Гагиров В. Г. О результатах магниторазведки на нефтяных месторождениях Мурадханлы и Джафарлы: Материалы IV науч.-теорет. конф. — Баку, 1987. — С. 5—6.
- Гагиров В. Г. Прогнозирование вулканогенных образований мезозоя Среднекуринской депрессии и их нефтегазосности по комплексным геофизическим данным: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Ин-т геологии. — Баку, 1991. — 22 с.
- Гагиров В. Г. Основы применения магниторазведки при поиске нефтегазовых залежей в Среднекуринской депрессии // Азербайджан. нефтяное хозяйство. — 1996. — № 6. — С. 7—10.
- Гершанок Л. А. Изучение локальных структур в Пермском Прикамье детальной магниторазведкой // Метод прогнозирования геологического разреза геофизическими методами. — Пермь, 1981. — С. 56—66.
- Кузнецова В. Г., Дембицкий Е. П., Введенская М. Н. Методика и результаты высокоточной магнитометрии на месторождениях газа в Предкарпатье // Тр. Ин-та геол. и геохимии горючих ископаемых АН УССР. — 1981. — № 16. — С. 201—214.
- Лапшов В. А. Дополнительные критерии в использовании магнитометрических данных при поисках нефтегазовых месторождений // Нефть и Вглящца геол. — 1975. — № 3. — С. 24—28.
- Мегеря В. М., Савин В. Г., Щербинина Г. П., Простолупов Г. В. Комплексные геофизические исследования палеозойских отложений при нефтепоисковых работах на Горелой площади // Геофизика. — 2003. — № 6. — С. 14—16.
- Орлюк М. И., Друкаренко В. В. Магнитная восприимчивость пород северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 1. — С. 78—91.
- Орлюк М. И., Пашкевич И. К. Магнитная характеристика и разломная тектоника земной коры Шебелинской группы газовых месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов // Геофиз. журн. — 2011. — 33, № 6. — С. 136—151.
- Путиков О. Р., Вешев С. А., Ворошилов Н. А., Алексеев С. Г., Чжоу Цзыюн, Касьянова Н. А. Струйные ореолы рассеяния над нефтегазовыми залежами в неоднородных породах // Геофизика. — 2000. — № 1. — С. 52—56.
- Сейфулин Р. С. Соотношение тепловых и магнитных аномалий над залежами углеводородов с естественными электрическими полями // Нефтегазовая геология и геофизика. — 1980. — № 8. — С. 42—43.
- Устинова В. Н. Залежи углеводородов, особенности их проявления в геофизических полях // Геофизика. — 2002. — № 5. — С. 25—31.
- Footo R. S. Relationship of near-surface magnetic anomalies to oil and gas producing areas // AAPG Memoir 66: Hydrocarbon migration and its near surface expression. — 1996. — P. 111—126.
- Gadirov V. G. The physical-geological principles of application of gravity and magnetic prospecting in the search of oil and gas deposits: Proceedings of 10th petroleum congress and exhibition of Turkey. — Ankara, 1994. — P. 197—203.
- Gadirov V. G., Eppelbaum L. V. Detailed gravity, magnetics successful in exploring Azerbaijan onshore areas // Oil and Gas J. — 2012. — 110, № 5. — P. 60—73.
- Maksymchuk V., Kuderavets R., Chobotok I., Tymoschuk V. High-resolution mantic surveys for oil and gas fields searching in NW part of the Carpathian foredeep: 2nd International Conference «Alpine-Petrol 2012». — Poland, Krakov, 2012. — P. 83—84.