

При изучении нефтегазовых месторождений новая информация может быть получена при комплексировании скважинных магнитометрических исследований с современным аппаратно-методическим комплексом измерений и интерпретации различных геофизических полей в скважинах. В настоящее время при геологическом изучении районов, перспективных на нефтегазовые месторождения, широко применяется комплекс аэро-, наземных и скважинных геофизических методов, включающих и магнитометрию.

МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Ю.Г. АСТРАХАНЦЕВ
Н.А. БЕЛОГЛАЗОВА
И.И. ГЛУХИХ
Г.В. ИГОЛКИНА

Институт геофизики УрО РАН

г. Екатеринбург

Магнитная минерализация на нефтяных месторождениях отмечается в зонах регрессивного метаморфизма, приуроченного к областям разуплотнения пород и повышенной проницаемости газа и флюидов, хорошо отмечаемым по магнитометрическим данным. Это обусловлено изменением магнитных свойств осадочных пород по латерали и новообразованием новых магнитных минералов при воздействии углеводородов на вмещающие породы. Для выявления закономерностей размещения нефтегазовых месторождений и их достоверного прогнозирования необходимо изучение глубокозалегающих нефтегазоносных комплексов и интрузий, встречающихся в осадочных отложениях. Проведение скважинной магнитометрии позволяет проводить литологическое расчленение разрезов нефтегазовых скважин по контрастности магнитных свойств пластов и их элементов залегания и увязывать его с данными наземной и аэромагнитной съемок в районах бурения скважин [Иголкина, Астраханцев, 1999].

Резко возросший за последние десятилетия уровень магнитометрической аппаратуры, методики и программного обеспечения для обработки и интерпретации магнитных данных позволяет расширить круг решаемых

геологических задач и реализовать построение вероятностных петромагнитных разрезов на месторождениях углеводородного сырья. Определяющим условием для этого явилась возможность непрерывных измерений одновременно всех трех составляющих вектора геомагнитного поля, величины магнитной восприимчивости горных пород, магнитного азимута и зенитных углов скважины. Это позволило решать сложные геологические задачи и перейти от качественного истолкования полученной магнитометрической информации к её количественному истолкованию.

В настоящее время в Институте геофизики УРО РАН разработан и опробован аппаратно-программный комплекс, позволяющий одновременно проводить непрерывные магнитометрические и инклинометрические исследования наклонно-направленных скважин как в открытом стволе, так и в легкосплавных бурильных трубах. Комплекс включает в себя цифровой скважинный магнитометрический инклинометр нового поколения и программное обеспечение, позволяющее производить непрерывную регистрацию измеряемых параметров на персональный компьютер и оперативно обрабатывать полученную информацию непосредственно в полевых условиях.

Использование жестко закрепленных феррозондов, бесколлекторных систем определения их ориентации (акселерометры типа АТ1305, АТ1104 (ОКБ «Темп» г. Арзамас)) и новых магнитных материалов позволяет существенно повысить точность измерений [Астраханцев, 1998; Потапов и др., 1999; Астраханцев, Пономарев, 1985]. Такой принцип построения аппаратуры воплощен в комплексном скважинном магнитометре-инклинометре МИ-3803, который позволяет одновременно проводить непрерывные измерения вертикальной и горизонтальной составляющих модуля геомагнитного поля, магнитной восприимчивости горных пород, подсеченных скважиной, магнитного азимута, визирного и зенитного углов скважины (рис.1).

Прибор разработан в нескольких модификациях с питанием от сети переменного тока или аккумуляторов. При использовании ориентаторов по патенту РФ [Астраханцев, 1996 (б)] возможно проведение измерений в горизонтальных скважинах. Акселерометры, используемые в скважинном приборе, содержат температурные датчики, используемые для программной коррекции ухода «нуля» и коэффициента преобразования ориентаторов. Такая коррекция необходима при большом диапазоне рабочей температуры (0-120°C), особенно в субвертикальных скважинах.

Для обеспечения высокой точности измерений геомагнитного поля при помощи феррозондов в приборах этого типа было обеспечено [Астраханцев, 1996 (а), Астраханцев, 1996 (б), Глухих и др., 1995]:

- требуемое быстродействие магнитометра при переключении феррозондов;
- приемлемый уровень собственных шумов феррозонда, в целом магнитометра и температурная стабильность датчиков;
- требуемая линейность выходного сигнала магнитометра в широком диапазоне изменения магнитного поля;
- высокая помехозащищенность магнитометра от полей промышленной частоты.

В зависимости от условий измерений, скважинный прибор может быть помещен в корпус диаметром от 38 до 70 мм. Прибор работает с использованием одножильного бронированного кабеля длиной до 6 км. Регистрация информации осуществляется в режиме непрерывной передачи данных, что позволяет его стыковать не только ►

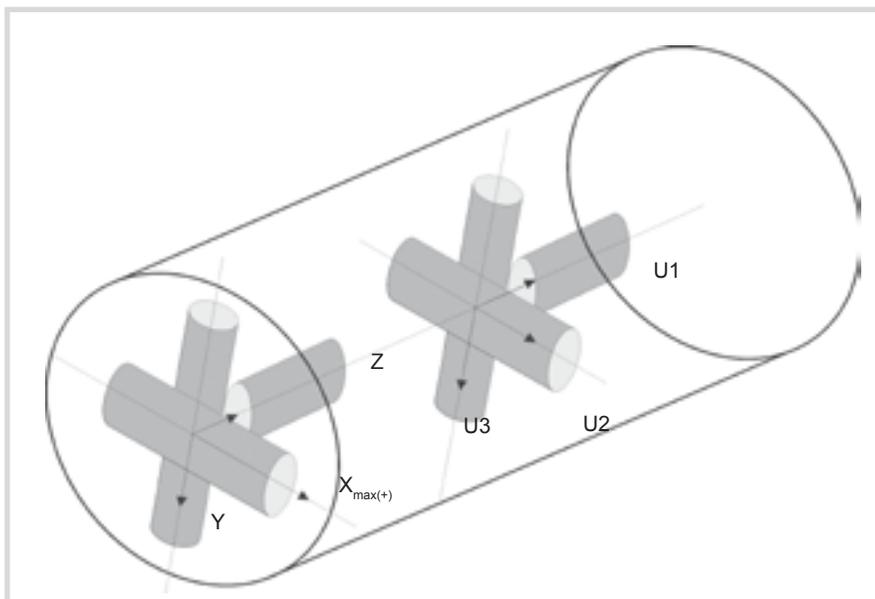


Рис. 1 Схематическое изображение трехкомпонентного скважинного магнитометра-инклинометра, сконструированного на основе жестко закрепленных феррозондов и акселерометров

Диапазон измерений:	
составляющих вектора геомагнитного поля	$\pm 80 \cdot 10^3$ нТл
азимута скважины	0-360°
угла отклонения скважины от вертикали	0-180°
магнитной восприимчивости	$50 \cdot 10^{-5} \pm 2$ ед.СИ
Погрешность измерений:	
составляющих вектора геомагнитного поля	$\pm 0.01 \cdot Z \pm 20$ нТл
азимута (при зенитном угле >2°)	$\pm 1,5^\circ$
зенитного угла	$\pm 10^\circ$
Питание:	
от сети переменного тока	220 В, 50 Гц
Габариты:	
скважинный прибор	1800×(38±70) мм
наземный пульт	100×140×160 мм
Условия эксплуатации:	
температура	-10÷ 120° С
давление	до 100 МПа

Табл. 1 Основные технические характеристики скважинного магнитометра-инклинометра МИ-3803-М

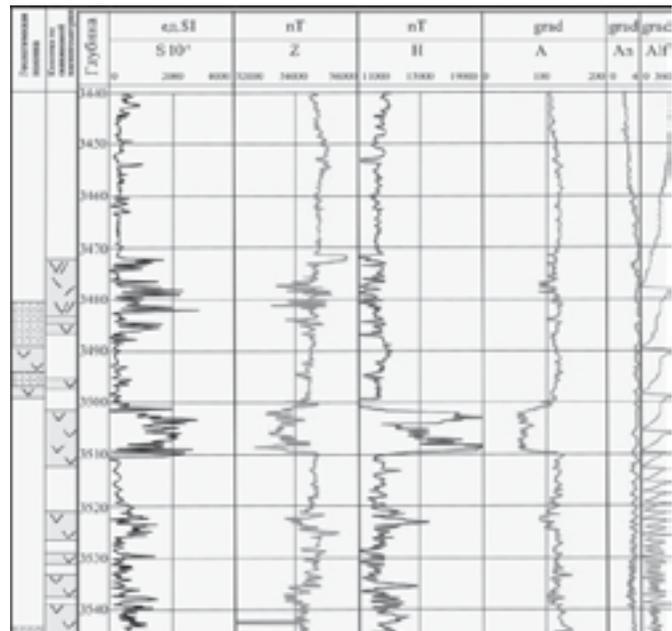


Рис. 2 Результаты скважинной магнитометрии по скважине №155 Кечимовского месторождения

с персональными компьютерами, но и с компьютеризированными каротажными комплексами типа «Гектор», «Вулкан» разработки фирмы «Эликом», г. Уфа.

Блок магнитной восприимчивости содержит α -датчик, состоящий из намагничивающей катушки, приемного феррозонда и компенсационной катушки. Сигнал с феррозонда преобразуется той же схемой магнитометра в сигнал постоянного тока и далее в цифровой код.

Программно-методическое обеспечение позволяет реализовать непрерывную регистрацию измеряемых величин параллельно с коррекцией глубин по магнитным меткам, их предварительную обработку и визуальный просмотр информации в процессе измерения. Регистрируемые параметры в двоичных кодах записываются в память компьютера. Последующая программная обработка включает расчет Z- и H-составляющих магнитного поля, азимута, зенитного и визирного углов скважины в функции глубины с внесением всех поправок в измеренные параметры. Производится скаляция глубин по выбору через 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 и 10,0 м с автоматическим усреднением азимута (Az) и визирного угла (φ), что позволяет проводить инклинометрические измерения как в открытом стволе, так и в легкосплавных бурительных трубах (ЛБТ). Дальнейшие расчеты позволяют определить траекторию скважины непосредственно в полевых условиях. Выходные данные представляются в LAS-формате.

Программное обеспечение для интерпретации скважинных измерений позволяет производить построение векторов аномального магнитного поля и определять:

- пространственное положение тел с повышенной магнитной восприимчивостью в околоскважинном пространстве;
- определять элементы залегания магнитных тел, подсеченных скважиной, по скачкам магнитного поля;
- вычислять намагниченность горных пород и моделировать магнитные поля от нескольких тел.

Применение скважинной магнитометрии (измерение магнитной восприимчивости и магнитного поля) позволило изучить распределение магнитной минерализации и изменение магнитного поля и его градиента с глубиной в чехлах древних (Тимано-Печорская СГ-5, Колвинская) и молодых (Тюменская СГ-6) платформ, а также в трех глубоких разведочных скважинах Западной Сибири.

Расчленение разреза скважины основано на различиях в величине и характере кривых магнитной восприимчивости и магнитного поля подсеченных пород. Магнитные породы, вскрытые нефтегазовыми скважинами, имеют различные магнитные свойства и менее четкую, по сравнению с рудными скважинами, дифференциацию по магнитным свойствам с вмещающими породами. Для слабомагнитных объектов соотношение по магнитной восприимчивости между магнитным телом и вмещающей породой не превышает 1-2 порядков. Более однородными по магнитным свойствам являются осадочные породы глины, алевролиты, аргиллиты, песчаники, известняки и доломиты. Магнитная восприимчивость их варьируется в пределах $0-400 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Последнее обстоятельство является благоприятным фактором для магнитной корреляции разреза на нефтегазовых месторождениях. Магнитометрические исследования, проведенные в Тимано-Печорской СГ-5 и Колвинской параметрической скважине, показали, что магнитные долериты, вскрытые скважинами в интервале глубин 4000-5000 м на фоне слабомагнитных известняков, аргиллитов и алевролитов, выделяются четкими аномалиями магнитной восприимчивости и магнитного поля.

Впервые для расчленения осадочного разреза скважинная магнитометрия была проведена в Тюменской сверхглубокой скважине СГ-6, вскрывшей в верхней части разреза осадочные слабомагнитные породы, которые характеризуются значениями магнитной восприимчивости до $40 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, Z_a до -100 нТл.

В 1994-1995 гг. измерения выполнялись в скважинах Кечимовского месторождения

Западной Сибири (Астраханцев, Иголкина, 2000), где была показана эффективность скважинной магнитометрии при расчленении осадочного чехла и пород палеозойского фундамента (рис. 2).

Данные скважинной магнитометрии в этом районе показывают, что осадочные породы, подсеченные нефтегазовыми скважинами, слабо магнитны, а кривые магнитной восприимчивости α и магнитного поля сильно дифференцированы, что связано с неоднородным распределением и количеством магнитных минералов в осадочном чехле. Низкими значениями магнитной восприимчивости и магнитного поля характеризуются песчаники, величина магнитной восприимчивости которых не превышает $40 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Повышенными магнитными свойствами отмечаются алевролиты и аргиллиты, у которых величина α до $150 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Лабораторные исследования выявили в качестве носителей намагниченности пирротин, магнетит и маггемит. Разработанный комплекс признаков корреляции по магнитным параметрам (величина магнитной восприимчивости, величина и знак магнитного поля, величина и направление естественной остаточной намагниченности, определенной по скважинным измерениям, и другие магнитные параметры) позволил с достаточной степенью достоверности провести сопоставление и корреляцию магнитных пород месторождения.

Магнитные базальты, вскрытые одной из скважин среди осадочных пород на глубинах 3501-3512 м, 3520-3526 м и 3537-3549 м, обладают величиной магнитной восприимчивости от 2500 до $3800 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и величиной аномалии вертикальной составляющей магнитного поля Z_a до -3000 нТл (рис.2). Аномалия модуля горизонтальной составляющей H составляет 6000 нТл. Кривые α и Z_a сильно дифференцированы. Характер кривых Z_a и H позволил сделать вывод о том, что базальтовые тела являются секущими по отношению к вмещающим породам. Определение элементов залегания базальтов по скачкам ►

магнитного поля подтвердило юго-западное падение пород.

Ещё одна проблема, которую, возможно, позволит решить магнитометрическое исследование нефтегазовых скважин – повышение эффективности ядерно-магнитного каротажа (ЯМК). Применение метода ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) в искусственных магнитных полях открыло новые возможности исследования свойств пластов и пластовых флюидов (Ядерно-магнитный..., 2002; Расширение..., 2006). Появилась возможность оценить общую пористость пласта и разложить ее на компоненты: эффективную пористость, пористость капиллярно-связанной воды и микропористость глин (Мурцовкин и др., 2004). Высокая эффективность метода в немалой степени связана с возможностью точного расчета намагничивающего магнитного поля и высокочастотного поля, вызывающего прецессию, в заданной зоне исследования (Матюшин и др., 2000). Но существенную погрешность при этом может оказать изменение магнитных свойств среды (там же; Мурцовкин, Топорков, 2000). Как показали лабораторные исследования (Keating, Knight, 2007), время поперечной релаксации жидкости T₂, насыщающей пористую среду, зависит от свойств поверхности пор. Повышенное содержание магнитных минералов в пластах приводит к увеличению локального градиента магнитного поля, что в свою очередь сокращает время релаксации флюида, а, следовательно, приводит к искажению результатов интерпретации.

Получение дополнительной информации о магнитных свойствах пород, слагающих стенки скважины, позволит скорректировать интерпретацию полученных результатов ЯМК. Оценка естественной намагниченности горных пород, вскрытых скважиной, проводится по измеренным значениям составляющих геомагнитного поля и магнитной восприимчивости пород в скважине. В основном, имеющиеся программы направлены на определение вертикальной (остаточной и индуцированной) намагниченности (Бахвалов и др., 1992; Иголкина, Бахвалов, 1998). Методика вычисления по результатам скважинных измерений полной естественной намагниченности пород, предложенная в работе (Иголкина, Белоглазова, 1996), основана на аппроксимации магнитных пластов тонкими призмами. Критерием достоверности предлагаемой модели объекта с вычисленными значениями естественной намагниченности является сходимость измеренного и рассчитанного магнитных полей. Получаемая информация позволяет проводить дополнительное расчленение разреза по величине и направлению естественной намагниченности пород.

Апробация предложенного алгоритма и разработанной на его основе программы для слабомагнитных объектов была проведена на примере скв. 504В глубоководного морского бурения на Коста-Риканском рифте (Скважинная..., 2006). Основой послужили магнитометрические измерения в скважине, выполненные сотрудниками Института геофизики УрО РАН (Ponomarev, Nekhoroshkov, 1983). В интервале 3764-3920 м модуль естественной намагниченности меняется от 2,0 до 560 сА/м.

С учетом изменения азимута и наклона общей естественной намагниченности, в разрезе скважины выделены три интервала. Первый, представленный плагиоклаз-оливиновыми порфиоровыми базальтами, характеризуется средней величиной общей естественной намагниченности 90 сА/м, углом наклона -38° и азимутом -131°. Второй, где в интервале глубин 3790-3850 м встречены пиллоу-базальты, имеет средние значения соответственно 119 сА/м, -11°, +13°. Третий интервал, для которого характерно переслаивание плагиоклаз-оливиновых порфиоровых, флюо- и плагиоклаз-оливин-хлоритовых порфиоровых базальтов, характеризуется средними значениями соответственно 183 сА/м, +49° и +38°. При известной величине магнитной восприимчивости пород, предлагаемая методика позволяет оценить и их естественную остаточную намагниченность. В скв. 504В выделенные интервалы отличаются и по естественной остаточной намагниченности: первый интервал – среднее значение модуля 97 сА/м, наклонение -13°, азимут -63°; второй интервал – соответственно 113 сА/м, +4°, -1°; третий интервал – также соответственно 161 сА/м, +26° и +73°.

Таким образом, оценка общей естественной намагниченности по результатам скважинной магнитометрии, расчленение разреза по магнитным свойствам позволят выбрать оптимальные параметры ядерно-магнитного каротажа для изучения нефтегазовых залежей.

При бурении нефтегазовых скважин возникает ряд проблем, связанных с применением специфической технологии бурения, а также с повышенной кавернозностью стволов скважин. Применение бурового раствора с повышенными магнитными свойствами приводит к адсорбированию его на стенках скважины, в кавернах и зонах поглощения, а также проникновение магнитных металлических частиц в каверны и трещины позволяют выделить зоны трещиноватости и раздробленности в разрезах нефтегазопоисковых скважин по магнитным измерениям. Создание базы фактического материала по нефтегазовым месторождениям различного типа, а также комплексная интерпретация данных скважинной магнитометрии, магнитных исследований керна с другими методами ГИС позволит повысить достоверность решения геологической задачи изучения закономерности распределения нефтегазоносности с глубиной для различных геодинамических районов России. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астраханцев Ю.Г. Патент России №2063052. G01V 3/18 Блок первичных преобразователей скважинного магнитометра-инклинометра, 1996(а), бюлл. №18.
- Астраханцев Ю.Г. Патент России №2066184. G01V 3/18 Блок первичных преобразователей скважинного магнитометра-инклинометра, 1996(б), бюлл. №18.
- Астраханцев Ю.Г. Цифровой шахтно-скважинный магнитометр-инклинометр // Депонированная статья в ВИНТИ 11.12.1998 №3638-В98.
- Астраханцев Ю.Г., Иголкина Г.В. Скважинная магнитометрия при исследовании нефтегазовых

скважин // Уральский геофизический вестник, №1. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 10-17.

- Астраханцев Ю.Г., Пономарев В.Н. с. 1299315 (СССР). МКИ G01V 3/18/ Устройство для измерения магнитной восприимчивости горных пород. 1985, ДСП.
- Бахвалов А.Н., Иголкина Г.В., Портнов В.С. Определение намагниченности пород в скважине по результатам измерения магнитного поля и магнитной восприимчивости // Геология и разведка, 1992. № 2. С. 116-121.
- Глухих И.И., Иголкина Г.В., Астраханцев Ю.Г. Магнитометрия глубоких и сверхглубоких скважин // Геофизика, 1995. № 4. С. 145-150.
- Иголкина Г.В., Астраханцев Ю.Г., Глухих И.И., Литвинов Е.П. Перспективы и возможности скважинной магнитометрии при исследовании осадочных разрезов и палеозойского фундамента Западной Сибири по результатам измерений в глубоких скважинах // Электрические и электромагнитные исследования в нефтегазовых скважинах. Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999 г. с.291-298.
- Иголкина Г.В., Бахвалов А.Н. Определение намагниченности зон магнетитовой минерализации по данным скважинной магнитометрии // Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030»: Тр. Междун. науч. конф. Караганда, 1998. С. 692-695
- Иголкина Г.В., Белоглазова Н.А. Определение намагниченности пород по измерениям внутреннего магнитного поля и магнитной восприимчивости в сверхглубоких скважинах // Теория и практика геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электромагнитных полей: Тр. Междун. конф. Воронеж: Квадрат, 1996. С. 86-87.
- Матюшин Е.М., Барляев В.Ю., Мурцовкин В.А., Хаматдинов Р.Т. Первый российский прибор ядерно-магнитного каротажа с использованием поля постоянных магнитов // Геофизика, 2000. № 1. С. 43-50.
- Мурцовкин В.А., Митюшин Е.М., Малинин А.В. Выбор режимов измерений при ядерно-магнитном каротаже для определения нефтенасыщенности продуктивных пластов // Геофизика, 2004. № 4. С. 10-26.
- Мурцовкин В.А., Топорков В.Г. Новая технология петрофизических исследований керна, шлама и флюидов // Каротажник, 2000. № 69. С. 84-96.
- Поталов А.Н., Шерендо Т.А., Астраханцев Ю.Г., Шулик В.В., Нехорошков В.Л. Использование нанокристаллических и аморфных сплавов в скважинных феррозондовых магнитометрах // В.кн. Структура и свойства нанокристаллических металлов, Екатеринбург, УРО РАН, 1999 г. С. 38-39.
- Расширение возможностей производственного применения российской технологии ядерно-магнитного каротажа в искусственном поле / В.Ю. Барляев, В.В., Барташевич, В.К. Громцев и др. // Каротажник, 2006. № 2-4. С. 97-107.
- Скважинная магнитометрия при изучении магнитоактивного слоя океанической земной коры / Ю.Г. Астраханцев, А.Н. Бахвалов, Н.А. Белоглазова и др. // Науки о Земле – Найти и извлечь: Тр. Междун. конф. СПб, 2006. (С033).
- Ядерно-магнитный томографический каротаж / Р.Т. Хаматдинов, Е.М. Митюшин, В.Ю. Барляев и др. // Каротажник, 2002. № 100. С. 138-171.
- Keating, R. Knight. A laboratory study to determine the effect of iron oxides on proton NMR measurements // Geophysics, 2007. V. 72. № 1. P. E27-E32.
- Ponomarev V.N., Nekhoroshkov V. L. First measurements of the magnetic field within ocean crust // Initial reports of the deep sea drilling project. Leg 68 and 69. Washington, 1983. V. LXIX. P. 271-279.