

## **КОМПЛЕКС АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АЭРОМАГНИТНЫХ СЪЕМОК НА НЕФТЬ И ГАЗ**

Предприятие ФГУ НПП «Геологоразведка» проводит высокоточную аэромагнитную съемку масштаба 1:25000 — 1:50000 в нефтегазоносных провинциях РФ, что позволяет в кратчайшие сроки подготовить геофизическую основу для различных геоструктурных построений, выделить площади, потенциально перспективные на обнаружение УВ и локализовать в их пределах участки для постановки поисково-разведочных работ (сейсморазведка МОГТ, бурение и т.д.). Применение высокоточной аппаратуры, оснащенной современными средствами сбора информации, спутниковой системы и определения местоположения воздушного судна, обеспечивает высокую надежность фиксации слабоинтенсивных аномалий магнитного поля (первые нТл), получение практически не искаженных инерционностью измерений магнитного поля. На предприятии ФГУ НПП «Геологоразведка» налажен выпуск отечественных высокочувствительных аэромагнитометров МГМ-04М, МГМ-05 (В.С. Цирель и др.), не уступающих зарубежным аналогам. В 1998-1999 гг. совместно с НИИ «Системотехника» изготовлен качественно новый аэромагнитометр АКМ-01 (В.П. Пак и др.), превосходящий по многим параметрам зарубежные разработки. Магнитометр-градиентометр (МГМ-05) с разносом датчиков по вертикали 3,7 м позволяет получить практически не искаженную влиянием промышленных помех запись магнитного поля Земли (МПЗ), что имеет важное значение при работах в экономически освоенных регионах. Магнитометр АКМ-01 позволяет получать 1296 измерений в секунду при сохранении чувствительности 0,001 нТл. Это обеспечивает не только установку данной аппаратуры на более скоростные летательные аппараты, но и учет влияния самолета (девиация) на измерения МПЗ и т.д.

Аэрограмма-спектрометр АГС-97 предоставляет возможность измерения полного энергетического спектра гамма-излучения, что рас-

ширяет решение геофизических и геохимических задач при ведении поисковых работ на нефть и газ. Установка дополнительной аппаратуры — тепловизер (Малахит, Везувий-М), оптический газоанализатор (ДОГА) — обеспечивает новой информацией как по особенностям геологического строения территории исследований, так и по прогнозированию зон нефтегазоносности и, возможно, участков, перспективных на нефть и газ.

Использование современных технологий анализа тонкой структуры поля (СПАН, Структурный анализ и др.) расширяет возможности аэрогеофизики в изучении особенностей геологического строения осадочного чехла, в выделении различного типа тектонических структур и в оценке перспектив площадей на поиски залежей углеводородов. К настоящему времени накоплен большой материал и опыт применения аэромагнитной съемки (АМС) при решении задач нефтегазовой геологии практически во всех нефтегазоносных провинциях РФ. Современные АМС масштаба 1:25000—1:50000 при помощи качественно новой, высокочувствительной аппаратуры позволяют решать следующие геологические задачи:

— изучение структурно-вещественной неоднородности кристаллического фундамента, его гипсометрии, выделение тектонических нарушений с оценкой их роли в формировании блоковой структуры;

— выявление структурных осложнений осадочного чехла морфоструктур различного типа;

— прогнозирование залежей нефти и газа.

Физико-геологическая основа применения магнитного метода в решении упомянутых задач освещена в многочисленных публикациях [Иванов, Овсов, 1998; Кононков, Жигалина, Волгина и др., 1981; Куликов, Кроль, Мавричев, 1989; Куликов, Мавричев, 1995; Мавричев, 1997; Попков и др., 1997]. Отмечается, что в магнитном поле над структурными осложнениями осадочного чехла морфоструктур раз-

личного типа и, соответственно, над месторождениями нефти и газа аномалии DT имеют специфический характер: относительное понижение амплитуд (первые нанотесла). Данный диагностический признак широко применяется для выявления новых перспективных структур при поисках месторождений УВ. На примере известных нефтегазоносных объектов Тимано-Печорской провинции в магнитном поле отражаются примерно 82% структурных осложнений осадочного чехла. Коэффициент подтверждаемости сейсморазведкой МОГТ рекомендаций, данных по материалам аэромагнитной съемки, в нефтегазоносных провинциях составляет: Тимано-Печорской — 0,86, Волго-Уральской - 0,73, Западно-Сибирской — 0,76. В результате открыты новые месторождения УВ в Тимано-Печорской провинции (им. Требса), Западно-Сибирской (Сядорское, Малыгинское), Волго-Уральской (Зап. Вишневское, Чумазинское и Шамовское и др.), выделен ряд перспективных объектов, переданных в соответствующие организации, в т.ч. Минтопэнерго РФ.

Несмотря на определенные положительные результаты, полученные в результате АМС при решении задач нефтегазовой геологии, значительная часть информации еще не задействована. Поэтому разработка новых аппаратурных решений и компьютерных технологий позволит получить дополнительные данные для оценки перспектив нефтегазоносности ранее считавшиеся не доступными магнитному методу.

Оценка глубины залегания кристаллических пород фундамента и, соответственно, определение мощности отложений осадочного чехла являются одной из определяющих задач в изучении закрытых территорий при прогнозе их нефтегазоносности. По материалам выполненных ранее мелких и среднемасштабных гравиметрических и аэромагнитных съемок (основной материал для такого анализа) эта задача решалась многочисленными методами оценки по отдельным аномалиям вручную. С внедрением высокочувствительной аппаратуры, переходом на крупномасштабные (1:50000-1:25000) съемки разработка новых технологий обработки насыщенной информации на ПК позволила решать обозначенную задачу на более высоком уровне. Так, напри-

мер, по технологии, разработанной в ГНПП «Севморгео», выполняется тотальный расчет глубин залегания магнитоактивных источников способами, различающимися модельными представлениями и алгоритмами расчетов: метод деконволюции Вернера, метод логарифмических спектров, метод автоматических подборов источников различных классов, метод «особые точки», моделирование в двумерном и трехмерном вариантах. Основной методологической установкой данной технологии является требование многовариантности анализа, позволяющей охарактеризовать «пространство возможностей» и найти инвариант, т.е. устойчивые черты структуры, не зависящие от применяемых методов анализа. Реализация данной технологии на ПК позволяет отстроить карту рельефа магнитных пород фундамента на значительных площадях. Таким примером может служить Республика Марий Эл, где на площади в 15000 км<sup>2</sup> проведен такой анализ. На территории республики наблюдается чередование линейных магнитных максимумов и минимумов магнитного поля, в основном субмеридионального простирания, обусловленное развитием здесь надвигов [Казанцев, Казанцева, 2001]. Напряженность поля DT изменяется от —600 до +2100 нТл.

При изучении строения кристаллического фундамента данные магнитной съемки использовались как для определения вещественного состава пород фундамента, так и оценки его гипсометрии. Отсутствие достаточного материала по составу вскрытых скважинами пород фундамента, к тому же не подвергшихся изучению физических параметров (магнитные, плотностные и др. свойства), не позволяет детально и надежно изучать вещественный состав и, соответственно, структурно-морфологические особенности поверхности фундамента. Для этих целей привлекались данные по Татарстану и Республики Удмуртия, где такие работы проведены. В итоге на составленной карте «Результаты интерпретации» в толще пород кристаллического фундамента выделено 4 комплекса пород, различающихся по составу и, соответственно, по магнитным свойствам. В магнитном поле им соответствуют различные по морфологической выраженности, интенсивности, горизонтальному градиенту и т.д. типы полей DT

Наиболее магнитными породами фундамента являются магнитосодержащие плагиогнейсы, гиперстен-гранатовые, железисто-силикатные породы, входящие в состав нижней части разреза большечеремшанской серии архея. В верхней части разреза залегают высокоглиноземистые кордиерит-силлиманитовые, гранат-биотитовые и другие кристаллические сланцы, над которыми фиксируются поля линейного характера интенсивностью до 1000 нТл. Наименее магнитными образованиями кристаллического фундамента являются толщи метаосадков типа филлитов и т.д. (раннепротерозойские отложения?), развитые в основном в области впадин (Казанско-Кажимский авлакоген). Над ними отмечается магнитное поле линейной морфологии амплитудой до 300 нТл. Интрузии основного и ультраосновного ряда формируют магнитные поля субизометричной формы интенсивностью 250-750 нТл.

Составленная схема разломной тектоники, где преобладают нарушения субмеридионального направления, объясняет основное простирание внутренней складчатости Ронгинского, Ключевского и Аркаульского блоков фундамента. Мари-Турекский блок характеризуется широтной системой разрывных нарушений и складчатости, являясь, по-видимому, фундаментом крупной зоны разломов на востоке республики и за ее пределами. Совпадение по простиранию основных крупных (региональных, блокораделяющих) разломов и складчатости внутри блоков позволяет предположить, что причиной дислокации пород фундамента были субгоризонтальные движения.

Выполненный тотальный расчет глубин по рассмотренной технологии изучения магнитного поля позволил получить схему гипсометрии магнитных пород фундамента по всей площади исследований. Расчетная поверхность не отражает собственно рельеф кристаллических пород архея, но то, что она отражает блоковую структуру фундамента, можно проследить при ее сопоставлении со структурными планами по кыновским и вышележащим горизонтам осадочного чехла. На примере 24-х структур, участвующих в анализе, установлено наличие тесной связи магнитного горизонта с девонскими отложениями, залегающими непосредственно на породах архея — 62%. Если исключить из анализа часть структур (типа Михайловской,

Косолаповской и др. — структуры инверсионного типа), то этот показатель возрастет до значений немногим более 70%. Выше по разрезу связь ослабевает и выражается для каменноугольных (бобриковский горизонт) отложений немногим более 50%, для нижнепермских — до 40%. С другой стороны, по характеру «магнитного» горизонта, сопоставляемого с отложениями низов большечеремшанской серии архея, можно судить об уровне эрозионного среза пород кристаллического основания и соответственно оценивать его блоковую структуру. Это, в общем, использовано при составлении карты «Результаты интерпретации».

Недостатком данной технологии является то, что представленные карты рельефа магнитных пород фундамента зачастую не соответствуют реальной гипсометрии кристаллических пород. Это, прежде всего, связано с тем, что породы фундамента еще в доплатформенную стадию тектонического развития претерпели интенсивные дислокации не только складчатого, но и разрывного (блокового) характера. На этой стадии амплитуда перемещения блоков и, соответственно, магнитных горизонтов фундамента значительно больше, чем на платформенной стадии. Именно в этот период формировались основные черты рельефа магнитных пород фундамента. Но в процессе последней пенепленизации произошло выравнивание поверхности, а рельеф магнитного горизонта, не выходящего на эрозионную поверхность фундамента, не изменился. Последующие перемещения блоков на платформенной стадии тектонического развития значительно менее интенсивны, характеризуются меньшими амплитудами и далеко не всегда являются унаследованными. Могут возникать новые блоки, которые совместно с унаследованными от прежних тектонических циклов создают современный рельеф поверхности фундамента.

Таким образом, выполненные работы показали, что при изучении закрытых площадей следует рассматривать структурно-морфологические особенности поверхности фундамента с позиций его вещественного состава и внутренней структуры. Последнее требует раскрытия главных историко-генетических типов региональных тектонических элементов, т.е. главенствующих типов тектоно-седиментацион-

ных режимов архейско-протерозойских этапов, их пространственных геоструктурных соотношений. Это содержание должно быть обя-зательно дополнено анализом последующих тектоно-метаморфических превращений, которым подверглись первичный состав и структура рассматриваемых комплексов, обусловивших современный облик последних. Такой анализ возможен при условии охвата гравиметрической и современной аэромагнитной съемкой масштаба 1:50000 значительных площадей.

В силу эквивалентности проявления различных геологических процессов в геофизических полях, гравимагнитные данные не обеспечивают однозначности решения каждым методом в отдельности. Поэтому для оценки поверхности кристаллического основания принята новая технология, основу которой составляет структурный анализ [Иванов, Овсов, 1998] с применением статистического анализа оценки данных поля силы тяжести и аномального магнитного поля в картировании структурно-формационных элементов кристаллического фундамента. По результатам такой обработки составляется карта классов, в основе которой заложены закономерные признаки отражения упомянутых структурно-формационных элементов. На конечном этапе полученная информация сопоставляется с известными данными глубины залегания пород фундамента (результаты бурения, электроразведки МТЗ-ЗСТ, сейсморазведки МОГТ и т.д.), по результатам которого составляется новая карта рельефа поверхности. Такая карта была отстроена для территории Республики Марий Эл. Сопоставление двух расчетных карт (глубины залегания магнитных пород и поверхностных пород фундамента) показало, что в результате сопоставления структурных планов новый вариант карты оказался более достоверным, а что касается разломной (блоковой) тектоники фундамента, то они сохранили идентичность. С другой стороны, в отношении данных глубин залегания кристаллических пород фундамента новая карта имеет явные преимущества перед первой.

Приведенные в начале работы цифры отражаемости известных объектов в морфологии магнитного поля и подтверждаемости прогноза, данные материалов аэромагнитной съемки

свидетельствуют о наличии генетической связи морфологии магнитного поля со структурными особенностями осадочного чехла [Куликов и др., 1989]. Это позволяет проводить формализованный подход к интерпретации магнитного поля как на основе выявления диагностических признаков картирования локальных объектов в аномалиях DT, о чем упоминалось выше, так и на основе корреляционно-статистического анализа, т.е. переходить от чисто качественных признаков к количественным характеристикам. Широко используется для этих целей программа КОМР [Шрайбман и др., 1977] и другие ее модификации, позволяющие выявлять корреляционные связи с магнитным полем и составлять на основе известных структурных планов или результатов сейсморазведки МОГТ по отдельным опорным профилям, прогнозные структурные карты [Куликов и др., 1995]. Ниже приводится пример такой обработки по Волгоградскому Поволжью на примере известного Котовского рифового массива. Аэромагнитная съемка масштаба 1:25000 проведена коллективом ВолгоградНИПИнефть. Обработка выполнена М.И. Рыскиным (Саратовский госуниверситет) при участии В.Г. Мавричева с применением программы КОМР [Шрайбман и др., 1977]. Подобная же обработка проведена и с привлечением данных гравиразведки.

Подобные работы проведены как по отдельным структурам и месторождениям нефти и газа (Ярейносское, Пашнинское, Ярейягинское, Терехевейское — Тимано-Печорская провинция [Куликов и др., 1989], Сырьянское, Котовское — Волго-Уральская провинция), так и по площадям (Ерсинская депрессия Тимано-Печорской [Куликов, Мавричев, 1995] и Ставропольская Волго-Уральской провинций). На примере Ставропольской депрессии, согласно построенным прогнозным картам по нижнепермскому и девонскому горизонтам, было высказано предположение, что депрессия представляет собой опущенный на 200 м блок северной части Жигулевско-Пугачевского свода [Мавричев, 1997].

Из практики геолого-геофизических исследований известно, что над месторождениями нефти и газа развиты ореолы рассеяния флюидов УВ, воздействие которых на вмещающие и перекрывающие залежи породы приводит

к изменению их первичного состава за счет развития эпигенетических минералов. Миграция углеводородных флюидов и сопровождающих их гидротерм приводит к эпигенетическим преобразованиям с переводом, в частности, трехвалентного железа в двухвалентную форму (развитие вторичного пирита по магнетиту в зоне восстановления). В результате создается ореол измененных пород, характеризующийся пониженной магнитной восприимчивостью. Такие изменения отмечены на ряде месторождений Тимано-Печорской (Усинское, Пашнинское, Возейское), Волго-Уральской (Саратовское, Исимовское, Уршакское, Гежское, Кустовское и др.) провинций [Куликов и др., 1989]. Для территории Удмуртии такие данные получены по Каракулинской и Косоевской площадям [Мавричев, 1997]. Аномальные изменения литофизических параметров в зоне углеводородного насыщения имеют зонально-кольцеобразную форму и свидетельствуют о возможности использования данных характеристик в качестве показателей нефтегазоносности. Выявление таких эпигенетических изменений, отражающихся в магнитном поле, осуществляется с применением метода спектрально-пространственного анализа (СПАН). Результативность данного метода определяется тем, что комплексы пород, включая и осадочные, в конкретном геологическом разрезе отличаются своими спектральными характеристиками. Углеводородные залежи также вносят свои специфические особенности в распределение спектральных характеристик магнитного поля, что позволяет использовать СПАН для их поисков. Поэтому материалы съемки анализируются по новой программе СПАН, позволяющей исследовать дисперсионные и пространственные свойства аномалий всех классов, присутствующих в наблюдаемом магнитном поле, детально изучать особенности наиболее интересных классов аномалий [Куликов, Мавричев, 1995].

Успешность прогноза по магнитной съемке для поисков залежей нефти и газа на основе

обработки по технологии СПАНа подтверждается на Смоленской (Дальнее Саратовское Заволжье, 1998 ф), Бахтинской (Пермское Прикамье, 1985 ф) структурах. Следовательно, разработанная технология поисков перспективных объектов позволяет проводить аэромагнитные исследования в производственных масштабах. Результатом является обоснованное выделение площадей для постановки более дорогостоящих сейсморазведочных работ с последующим бурением.

### Литература

*Иванов А.И., Овсов М.К.* Структурный метод обработки геоданных // Росс. геофиз. журнал. 1998. №11-12. С. 78-86.

*Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т.* Структурная геология юго-востока Восточно-Европейской платформы. Уфа: Гилем, 2001. 234 с.

*Котиков В.Ф., Жигалина О.К., Волгина А.М. и др.* Эффективность гравимагнитных методов поиска нефтегазовых залежей в рифогенных образованиях // Нефтегазгеол. и геофиз. 1981. №3. С. 6-9.

*Куликов Т.Н., Кроль Б.И., Мавричев В.Г.* Статистический анализ магнитного поля осадочного чехла Тимано-Печорской провинции // Геология нефти и газа. 1989. №4. С. 34-37.

*Куликов Т.Н., Мавричев В.Г.* Аэромагниторазведка на нефть и газ // Геофизика. 1995. №2. С. 37-43.

*Мавричев В.Т.* Выявление и оценка нефтепоисковых объектов Удмуртии магнитным методом // Геология, геофизика и разведка нефтяных месторождений. 1997. №1. С. 10-15.

*Попков В.И., Калинин М.И. и др.* Применение высокоточной крупномасштабной аэромагнитной съемки при изучении нефтегазоносных районов Мангышлака и Устюрта // Геология нефти и газа. 1997. №6. С. 17-23.

*Шрайбман В.И., Жданов М.С., Витницкий О.В.* Корреляционные методы преобразования и интерпретации геофизических аномалий. М.: Недра, 1977. 368 с.