

УДК 550.82.5 (262.5)

Ю.А. Богданов¹, В.П. Коболев², О.М. Русаков², И.Г.Захаров¹

ГЕОПОЛЯРИТОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГАЗОНОСНЫХ СТРУКТУР СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ

Приведены материалы опытно-методических электромагнитных наблюдений методом геополяритонного зондирования, полученные в 27-ом рейсе НИС "Владимир Паршин" над газоносными структурами северо-западного шельфа Черного моря. Наряду с перспективными структурами (Биостромная, Североголицинская и Восточношмидтовская), профиль пересекает такие известные месторождения, как Голицинское газоконденсатное, Южноголицинское и Шмидтовское газовые. Пространственная связь залежей углеводородов и тектонических нарушений, формирующих современную конфигурацию южной границы Восточно-Европейской платформы, четко указывает на ведущую роль разломов в вертикальной миграции газо-флюидных потоков.

Введение. Северо-западный шельф Украинской экономической зоны Черного моря, являющийся частью Черноморско-Северокрымского и Губкинско-Илличевского нефтегазоносных районов, представляется одной из наиболее перспективных углеводородных провинций Украины. Только в Черноморско-Северокрымском районе открыто 18 газовых и газоконденсатных и 2 нефтяных месторождения, среди первых в шельфовой зоне — 4 средних по запасам [1].

Стратиграфический диапазон нефтегазоносности достаточно широк — от нижнего мела до миоцена. Большинство месторождений связано с палеоценовой толщей. Коллекторами служат трещиноватые органогенно-детритовые известняки нижнего и низов верхнего палеоцена, покрывкой — нижнеэоценовые глины. Вторым по значению является майкопский комплекс, к которому приурочены газовые скопления на ряде месторождений. Они связаны с антиклинальными структурами. Коллекторами являются пачки песчано-алевролитовых пород. В толще верхнемеловых карбонатных и глинисто-карбонатных образований также получены значительные притоки нефти, газа и конденсата. В Губкинско-Илличевском нефтегазоносном районе в пределах румынского шельфа на площади Лебада открыто три нефтяных месторождения, приуроченных к ниже-верхнемеловым отложениям.

Однако следует отметить, что открытые к настоящему времени месторождения на северо-западном шельфе не могут считаться крупным промышленным успехом. Это является следствием того, что геолого-геофизические поисково-разведочные работы были ограничены изучением в основ-

© Ю.А. Богданов¹, В.П. Коболев², О.М. Русаков², И.Г.Захаров¹¹ НТЦ "Геондустрия", г. Харьков, Украина² Институт геофизики им. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина

ном верхнего структурного этажа шельфовой зоны, несогласно залегающего на более древних образованиях. В палеозойских отложениях выявлены только две перспективные структуры — Медуза и Катран. По аналогии с прилегающей сушей нефтяные залежи в толще палеозойских пород можно ожидать на глубинах до 3-х км, в интервале 3 — 5 км — нефтяные и частично газовые, а ниже 5 км — преимущественно газовые. Препятствием для получения достоверного материала о более глубоко залегающих комплексах является недостаточная разрешающая способность используемых геофизических методов.

Поэтому привлечение для исследования геологического строения и поиска скоплений углеводородов в Черном море новых геофизических методов, основанных на современных достижениях в сборе, обработке и интерпретации материалов является актуальной задачей.

В этой связи, в 27-ом рейсе НИС “Владимир Паршин” были выполнены опытно-методические электромагнитные наблюдения методом геополаритонного зондирования над отдельными, достаточно хорошо изученными промышленными и перспективными газоносными структурами северо-западного шельфа Черного моря (рис. 1). В первую очередь предметом исследований служили зоны разломов и тектонических нарушений, которые зачастую являются каналами миграции газо-флюидных потоков или выступают в роли экранирующих ограничений для скоплений углеводородов.

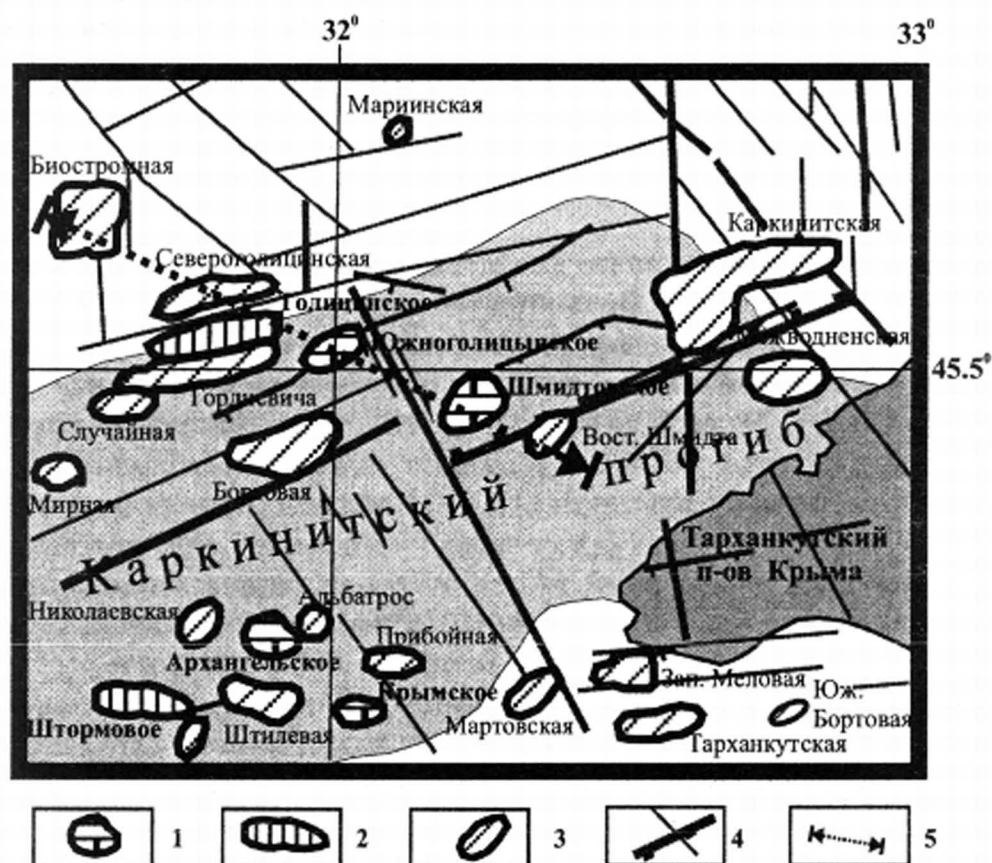


Рис. 1. Схема размещения месторождений и перспективных площадей в Черноморско-Северо-Крымском нефтегазоносном районе северо-западного шельфа Черного моря. Месторождения: 1 — газовые, 2 — газоконденсатные; 3 — перспективные площади; 4 — тектонические нарушения (по Старостенко и др., 2005), 5 — профиль электромагнитных наблюдений

О методе геополяритонного зондирования. Геологическая среда является источником естественного импульсного электромагнитного излучения (ЕИЭМИ) в широком диапазоне частот [2]. Источником ЕИЭМИ могут быть наблюдаемые в твердых телах механоэлектрические явления, сопровождающиеся быстрой релаксацией разделенных зарядов (явление поляризации). Разделение зарядов может происходить под действием электрокинетических, пьезоэлектрических и других явлений, а также под действием упругих и пластических деформаций. Одним из основных источников деформаций могут быть напряжения в твердом теле Земли, вызванные флуктуациями параметров ее ротационного режима.

Как свидетельствует обширный экспериментальный материал, литосфера является механически и электродинамически активной средой, способной генерировать электромагнитные возмущения, которые, достигая земной поверхности, создают на ней сложную структуру электромагнитного поля, открывающую новый перспективный канал получения информации о физических процессах в земной коре, ее строении и свойствах. И хотя существует заметная неопределенность наших представлений о физических механизмах генерации электромагнитных волн, качественная связь тектонической активности с возмущениями электромагнитного поля обнаружена достаточно давно [6].

Согласно положениям механики твердого тела [3], концентрация механических напряжений происходит в ослабленных зонах. Подтверждением этому положению является блоковое строение земных недр, причем новые нарушения, как правило, формируются вблизи существовавших ранее [4]. Наибольших напряжений следует ожидать в местах пересечения линейных зон напряжений.

Исходя из существенной пространственной неоднородности излучения природных объектов, в основу метода геополяритонного зондирования (ГПЗ) положено представление о локальной (точечной) области геополяритонного излучения (ГПИ), размерами которой по сравнению с размерами исследуемых геологических структур можно пренебречь. Реальные геологические объекты представляются в виде совокупности излучающих точек. Такое представление удобно тем, что форма реальных геологических объектов, как правило, сложная и лишь грубо характеризуется правильными геометрическими фигурами.

Сигнал от локальной напряженной области массива горных пород формирует на поверхности пространственную аномалию с характерными размерами и формой. В методе ГПЗ аномалия на записи сигнала (в плоскости профиля) представляет собой симметричную кривую с одним центральным и двумя боковыми максимумами.

Применяемая математическая обработка (вейвлет-преобразования или вейвлет-образ сигнала ГПИ, сингулярный спектральный анализ) позволяет выделить наиболее специфические свойства аномалии. Вейвлет-преобразования, не искажая формы сигнала в целом, позволяют выделять границы аномалии и измерять ширину аномалии с точностью до шага измерения вдоль профиля.

Размеры и особенности формы аномалии в исходном сигнале и после специальной математической обработки, а также особенности аномалии отдельных компонент сигнала, служат основой для решения обратной задачи. Соответствие свойств аномалии и свойств объекта устанавливается методом распознавания образов на основе решении прямой задачи для геологических и инженерных объектов с известными параметрами. Надежность выделенных связей проверяется методами математической статистики.

Счетчиком электромагнитных импульсов (магнитная составляющая по трем координатам) с амплитудой выше 5 мкВ в широком диапазоне частот (ОНЧ-, НЧ — и СЧ-диапазоны) с пологим максимумом на частотах порядка 5 кГц служит прибор "Тезей" [7]. Использование широкополосного приемника максимально соответствует природе импульсного излучения. Предполагается также, что принимаемое излучение в первую очередь характеризует напряженно-деформированное состояние горных пород, тогда как электрохимические и другие явления имеют локальный характер.

Ввиду того, что природа собственного излучения земных недр не изучена в достаточной мере, исследование геологической среды методом ГПЗ в настоящее время основывается преимущественно на эмпирических правилах, сформулированных на основе многолетних измерений излучения геологических и инженерных объектов с известными параметрами.

Параметры аномалии и их соотношения являются геометрическими величинами, которые определяются глубиной залегания излучающего объекта. Ее можно определить по ширине как всей аномалии, так и любой ее части (отдельному максимуму) путем использования соответствующих эмпирических коэффициентов. Для отдельно расположенных объектов точность определения глубин их залегания по ширине всей аномалии и ее дискретным частям сопоставима и определяется шагом измерения по профилю. При наложении аномалий от нескольких объектов точность определения глубины может снизиться, прежде всего, по отдельным узким максимумам. Особенности формы аномалии (амплитуда в целом и соотношение амплитуд отдельных максимумов) несут информацию о физических свойствах горных пород.

Объем банка данных, включающий нормированные значения сигнала по трем антеннам, их вейвлет-преобразования, низкочастотные и высокочастотные компоненты сингулярного спектрального анализа, пространственную изменчивость сигнала и поляризацию, примерно в 100 раз превышает объем исходной информации.

Построение карт интенсивности сигнала является базовым в методе ГПЗ. Карты позволяют выделить преимущественную пространственную сеть повышенных напряжений и связанных с ними геологических объектов. При построении геологических разрезов слои выделяются по точкам их пересечения с разломами и нарушениями, а также по напряжениям в местах изгибов, которые являются источниками повышенной интенсивности излучения. Совокупность этих точек дает первичную информацию для построения геофизического разреза локальных напряжений. Как правило, на начальном этапе проводится построение усредненного разреза по нескольким

профилям, что позволяет выделять основные структурные элементы. Надежность построения разреза по нескольким профилям увеличивается как за счет увеличения количества точек, так и за счет того, что в расчет принимается вся аномальная зона.

Построение разреза полуавтоматическое: оператор выбирает (подтверждает) аномалии, предложенные специальной программой. Достоинства построений: надежное определение глубины возмущающих источников, возможность выделения объектов с определенными параметрами (например, ловушек углеводородов). Окончательный вариант строится на основе совокупности ярких точек с учетом других, в том числе усредненных построений по нескольким профилям. Геологические слои могут быть выделены при условии, что их мощности превышают утроенный шаг по профилю.

Электромагнитные наблюдения в 27-ом рейсе НИС “Владимир Паршин” выполнялись с помощью измерительно-вычислительного комплекса, включающего в себя пороговый анализатор активности геополяритонного поля “Тезей” с широкополосной антенной [7], GPS и интерфейсный адаптер TSCe. Использование широкополосных сигналов является принципиальной особенностью геополяритонного зондирования, позволяющего регистрировать пассивное электромагнитное излучение на оптимальной для данной глубины частоте. Основными источниками регистрируемого излучения являются дислокации, механические напряжения и зоны контакта горных пород с различными физико-механическими свойствами. Запись навигационных параметров и данных анализатора осуществлялась с использованием пакета DGPS PRO XRS фирмы Trimble. Интервал считывания сигнала электромагнитного излучения составлял 5с. Первичная обработка полученных данных и их предварительная интерпретация проводились с помощью программных комплексов Sloika, ExtrPath, Plan, Range, Wav, Theseus, разработанных в НТЦ “Геоиндустрия”. Первичной информацией для построения геолого-геофизических разрезов являются координаты и глубина локальных излучателей. Учет амплитуды и формы аномалий позволяет выделять зоны сжатия и растяжения, разрывные нарушения, слои повышенной и пониженной вязкости, пористости т.д.

Результаты электромагнитных наблюдений. Профиль опытно-методических электромагнитных наблюдений с северо-запада на юго-восток наряду с перспективными структурами (Биостромная, Североголицинская и Восточношмидтовская) пересекает такие известные месторождения, как Голицинское газоконденсатное, Южно-Голицинское и Шмидтовское газовые (см. рис. 1). В тектоническом отношении указанные структуры располагаются в пределах северного пологого борта Каркинитско-Северо-Крымского прогиба, выполненного в основном мел-палеогеновыми отложениями, наложенными непосредственно на южный край древней Восточно-Европейской платформы. Практически все исследованные структуры находятся в пределах широкой многоступенчатой субширотной разломной зоны глубинного заложения, являющейся границей между Скифской плитой и южным окончанием Восточно-Европейской платформы [5].

На рис. 2 приведены графики распределения сигнала ГПИ вдоль профиля при прямом и обратном движении судна и схематический геологический разрез, полученный в результате обработки и интерпретации материалов наблюдений.

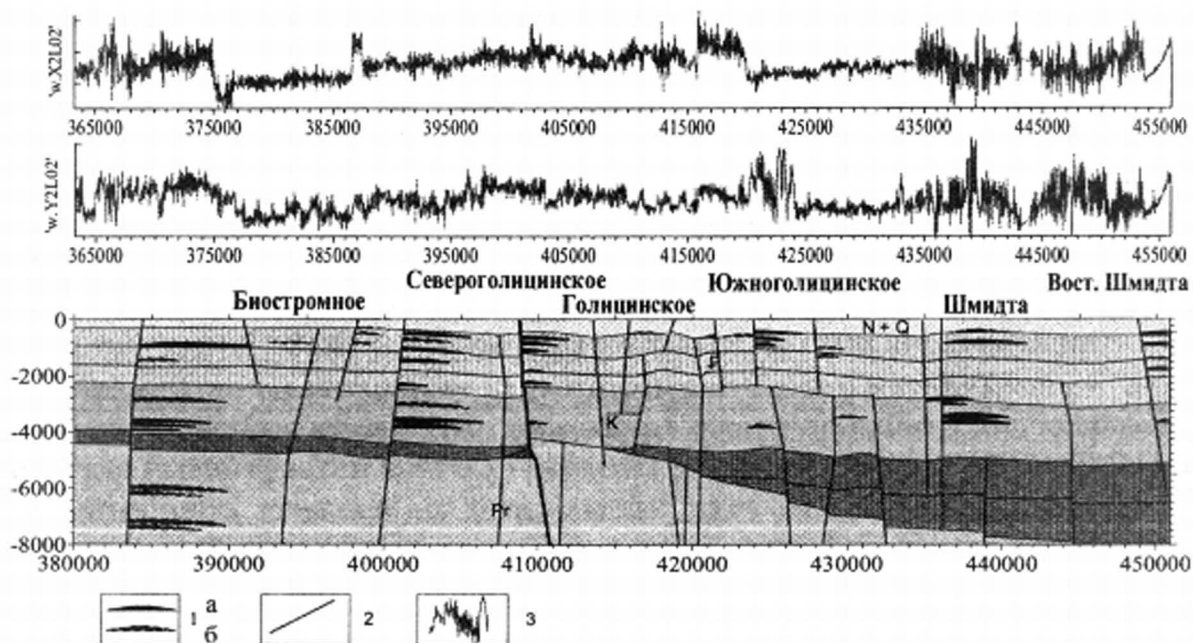


Рис. 2. Схематический геологический разрез по профилю 1 по данным ГПИ. Условные обозначения: 1 — залежи углеводородов: а — уверенно, б — менее уверенно; 2 — тектонические нарушения; 3 — графики распределения сигнала ГПИ

Сопоставление имеющейся геолого-геофизической информации с полученным схематическим разрезом по данным ГПИ свидетельствует о высокой разрешающей способности метода. Прежде всего, это касается тектонических нарушений, подчеркивающих чрезвычайно сложное разломно-блоковое строение рассматриваемого региона. Выделенные тектонические нарушения хорошо согласуются с обнаруженными здесь ранее разломными зонами по результатам других геолого-геофизических исследований [5]. Особого внимания заслуживают выделенные на различных глубинах перспективные залежи углеводородов в пределах исследованных структур. Значительная часть этих перспективных горизонтов нашла свое подтверждение в материалах ранее проведенного поисково-разведочного бурения. Остановимся более детально на результатах электромагнитных наблюдений на конкретных месторождениях и перспективных структурах.

Первооткрывателем углеводородов в украинском секторе Черного моря является Голицинское газоконденсатное месторождение. Платформенный чехол структуры представлен карбонатными и терригенными образованиями мела, палеогена и неоген-антропогена, мощность которых составляет соответственно 1500, 2000 и 350 м. Промышленные притоки газа были впервые получены в 1975 г. при опробовании трех продуктивных майкопских горизонтов на глубинах 528, 567 и 604 м. Продуктивность нижнепалеоценовых образований впервые установлена в 1976 г. в интервале 2148-2184 м, где был получен газ с конденсатом дебитом более 400 м³ в сутки [1].

На представленном геологическом разрезе по профилю наблюдений через Голицинскую структуру (рис. 3) на глубинах, соответствующих промысловому бурению, четко выделяются три майкопских продуктивных горизонта. На глубине порядка 2200 м также уверенно выделяется залежь углеводородов, видимо, соответствующая нижнепалеогеновым образованиям. Менее уверенно залежи углеводородов прослеживаются в отложениях палеогена и мела на глубинах соответственно 2000 и 3750 м. Все эти залежи с северо-запада ограничены субмеридиальным сбросовым разломом, являющимся оперением субширотной разломной зоны глубинного заложения между Скифской плитой и южным окончанием Восточно-Европейской платформы [5].

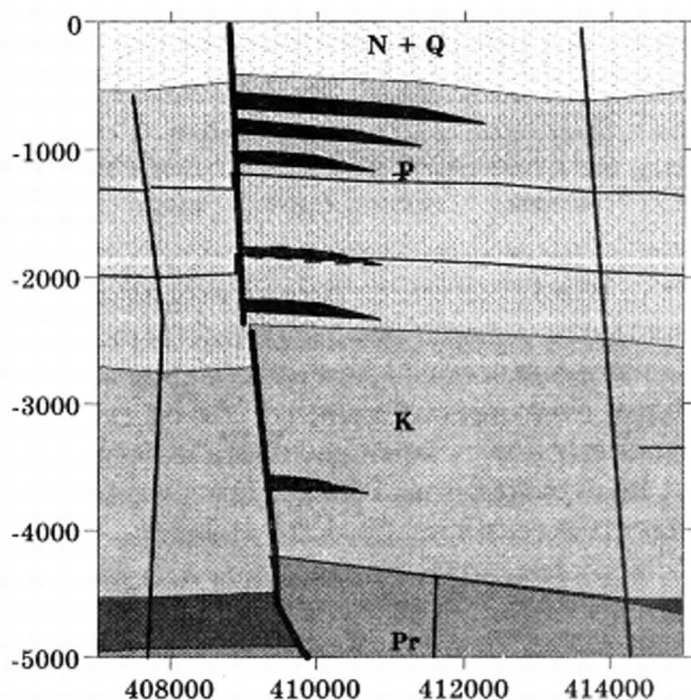


Рис. 3. Схематический геологический разрез Голицинского месторождения по данным ГПЗ. Условные обозначения см. рис. 2

Южно-Голицинское газовое месторождение подготовлено к поисковому бурению сейсморазведочными работами методом общей глубинной точки в 1979 г. В 1981 г. обнаружено два майкопских газоносных горизонта (591-627 и 708-714 м). Всего на месторождении пробурено 7 поисково-разведочных скважин. В изученной части разреза установлены меловые, палеогеновые и неоген-антропогеновые образования мощностью соответственно 2200, 950 и 460 м. Структура по кровле продуктивного горизонта среднего майкопа представляет собой брахиантиклиналь субширотного простирания [1].

На полученном геологическом разрезе по профилю электромагнитных наблюдений через Южно-Голицинское месторождение (рис. 4) прослеживается сеть локальных пликативных дислокаций верхнего палеоген-четвертичного структурного этажа. Меловые отложения менее дислоцированы. Обнаруженные промысловым бурением два майкопских продуктивных горизонта нашли свое отражение на представленном разрезе как уверенно выделяемые залежи. Менее уверенно в пределах Южно-Голицинского месторождения выделяются еще 4 залежи в верхах палеогена и две — в меловых отложениях. Обращает внимание на себя тот факт, что выделенные

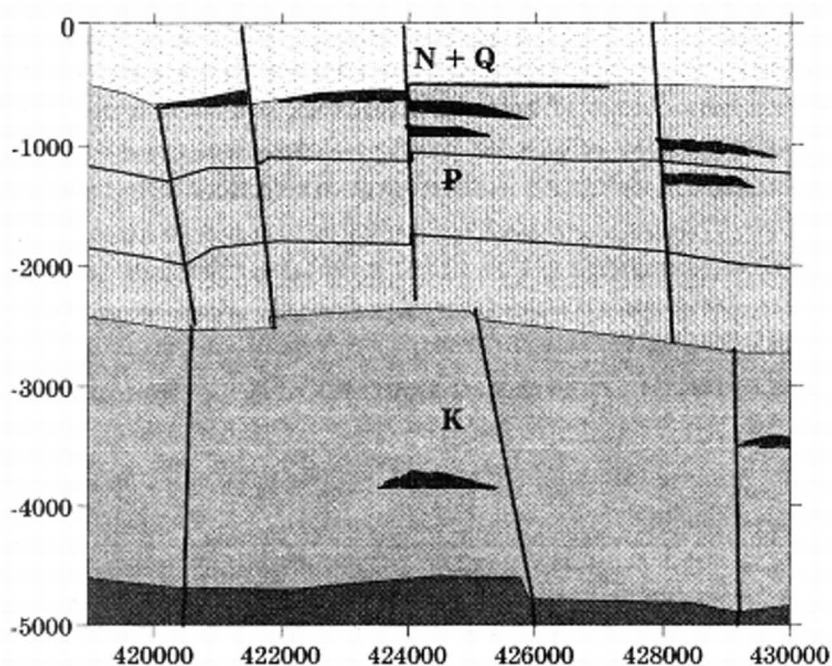


Рис. 4. Схематический геологический разрез Южно-Голицинского газового месторождения по данным ГПЗ. Условные обозначения см. рис. 2

залежи углеводородов, как правило, сопряжены с тектоническими нарушениями, что может свидетельствовать о миграционной и экранирующей значимости последних.

Шмидтовское газовое месторождение располагается в 38 км на северо-запад от поселка Черноморский (западное побережье Крыма). Структура в палеогеновых образованиях обнаружена сейсморазведочными работами методом отраженных волн в 1962-64 гг. и была подготовлена к поисковому бурению детальными работами методом общей глубинной точки в 1973-79 гг. по отражающим горизонтам в меловых и палеогеновых отложениях. На месторождении пробурено 9 скважин. В изученной части разреза установлены верхнемеловые, палеогеновые и неоген-антропогенные карбонатные и

терригенные образования мощностью соответственно 700, 2400 и 530 м. При опробовании в 1979 г. с майкопского интервала 700-749 м приток газа составил 177 м³ в сутки.

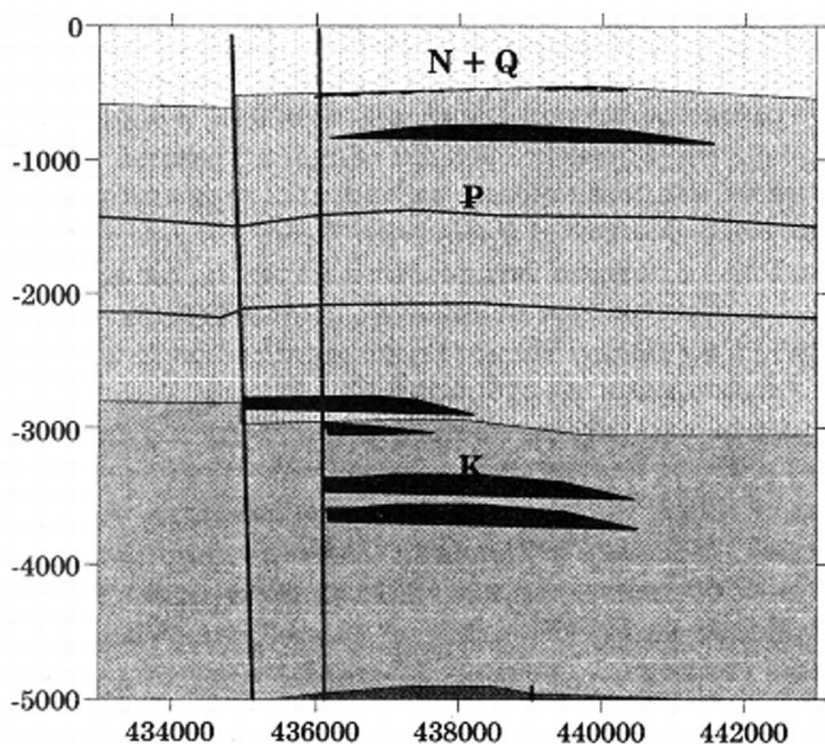


Рис. 5. Схематический геологический разрез Шмидтовского газового месторождения по данным ГПЗ. Условные обозначения см. рис. 2

В 1989 г. с интервала 2695-2740 м (нижний палеоцен) получен газ с водой и конденсатом с небольшим дебитом. При опробовании верхнемеловых карбонатных образований в интервале 2900-3300 м непостоянные притоки газа достигали до 260 тыс. м³ в сутки [1]. Результаты проведенных электромагнитных исследований методом ГПЗ (рис. 5) позволяют выделить в интервале глубин 700 — 750 м мощную залежь углеводородов, приуроченную, видимо, к среднему майкопу. На границе палеогена и мела фиксируются две небольшие залежи на глубине примерно 3000 м. В меловых отложениях два мощных скопления углеводородов прослеживаются на глубинах 3400 и 2700 м, т.е. глубже указанного выше интервала опробования. Если палеогеновая залежь представляет собой брахиантиклиналь, то меловые скопления углеводородов ограничены с северо-запада разрывными нарушениями.

На северо-запад от Голицинского месторождения были открыты две перспективные в нефтегазоносном отношении площади, получившие названия Северо-Голицинская и Биостромная и (см. рис. 1). Эти структуры, равно как и Голицинская, приурочены к северному пологому борту Каркинитско-Северо-Крымского прогиба, выполненного в основном мел-палеогеновыми отложениями, наложенными непосредственно на докембрийские образования южного края древней Восточно-Европейской платформы.

Геологический разрез Северо-Голицинской структуры, полученный по материалам ГПЗ (рис. 6), свидетельствует о ее высоком углеводородном потенциале. Здесь в отложениях палеогена на глубинах 450, 900, 1300 и 2300 м уверенно выделяются шесть залежей углеводородов. Четыре залежи в верхах палеогена прослеживаются менее уверенно. Судя по мощности выделяемых ловушек, в толще меловых пород на глубинах 3500 и 3700 м можно также ожидать значительные запасы углеводородов.

Результаты электромагнитных наблюдений над Биостромной структурой (рис. 7) позволили выделить на глубине порядка 1000 м достаточно мощную залежь углеводородов в отложениях палеогена и в интервале глубин 3600 — 3900 м три дискретных скопления в меловой толще.

Как и на Голицинском месторождении, все прогнозируемые залежи на Северо-Голицинской и Биостромной площадях с северо-запада ограничены субмеридиональными сбросовыми тектоническими нарушениями, являющимися

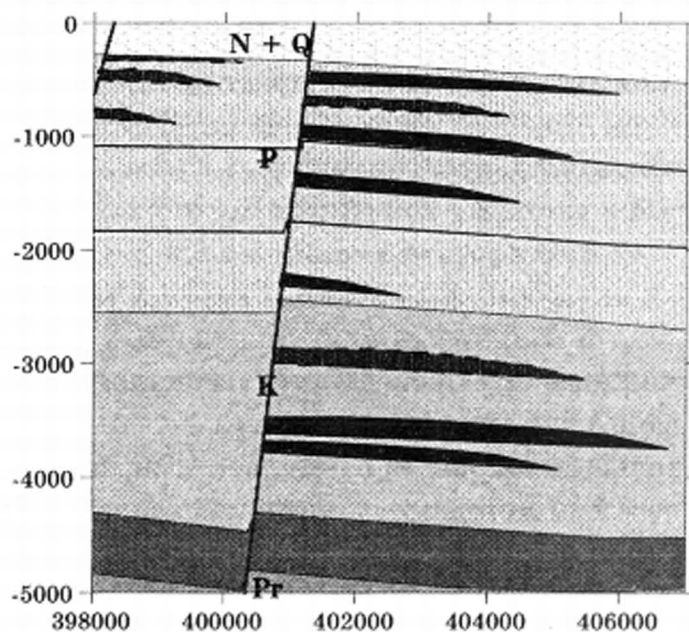


Рис. 6. Схематический геологический разрез Северо-Голицинской структуры по данным ГПЗ. Условные обозначения см. рис. 2

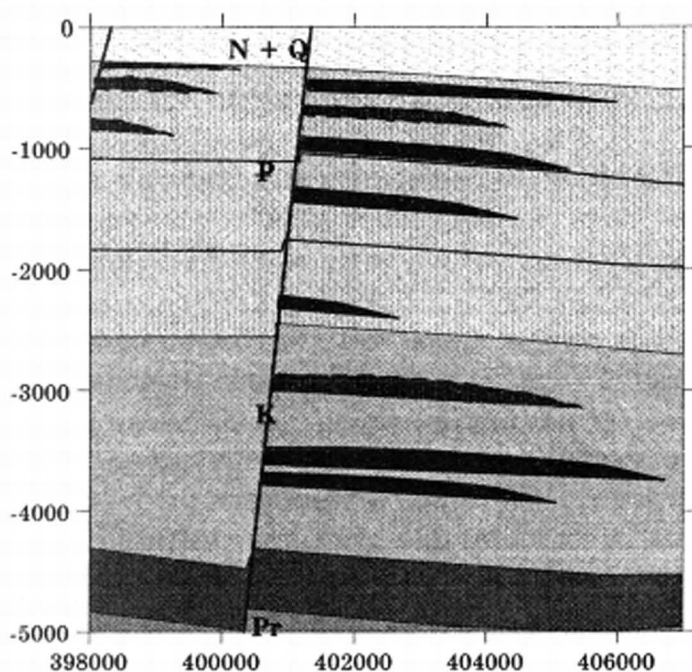


Рис. 7. Схематический геологический разрез Биостромной структуры по данным ГПЗ. Условные обозначения см. рис. 2

оперением широкой многоступенчатой субширотной разломной зоны глубинного заложения на границе между Скифской плитой и южным окончанием Восточно-Европейской платформы[5].

Выводы

1. Сопоставление имеющейся геолого-геофизической информации с результатами проведенных в 27-ом рейсе НИС "Владимир Паршин" опытно-методических электромагнитных наблюдений над известными газоносными структурами свидетельствует о высокой разрешающей способности метода ГПЗ.

2. Тесная связь выделенных залежей углеводородов в пределах исследованных структур с тектоническими нарушениями может свидетельствовать как о миграционной значимости последних, так и их экранирующей роли.

3. Выделенные тектонические нарушения хорошо согласуются с обнаруженными здесь ранее по результатам других геолого-геофизических исследований разломными зонами. Прослеженные субмеридиональные тектонические нарушения в пределах исследованных структур являются оперением широкой многоступенчатой субширотной разломной зоны глубинного заложения, отождествляемой с положением границы между Скифской плитой и южным окончанием Восточно-Европейской платформы.

4. Особого внимания заслуживают выделенные в меловых образованиях на различных глубинах перспективные залежи углеводородов.

5. Полный анализ полученных методом ГПЗ результатов станет возможным при проведении региональных и детальных площадных исследований на конкретных нефтегазоносных структурах с последующим сравнительным анализом с результатами, полученными ранее другими геофизическими методами, и материалами поисково-разведочного и промыслового бурения.

1. Атлас родовищ нафти і газу України. Південний Нафтогазоносний регіон. Українська нафтогазова академія, Львів, 1998.— 222 с.
2. Богданов Ю.А., Воронин В.И., Уваров В.Н., Черняков А.М. Электромагнитное проявление структуры недр // Геофизический журнал.—2001.—Т. 25, № 4.—С. 117-125.
3. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике.— М.: Наука, 1990.— 249 с.
4. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс.— М.: Наука, 1987. с. 101.
5. Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Макаренко И. Б., Русаков О.М., Кутас Р.И., Легостаева О.В. Разломная тектоника консолидированной коры северо-западного шельфа Черного моря. Геофиз. журн. 2005 — №2, С.195-207.
6. Шуман В.Н. Электромагнитные сигналы литосферного происхождения в современных наземных и дистанционных зондирующих системах. Геофиз. журн. 2007 — №2, С.3-16.
7. Альошин Г.В., Богданов Ю.О. Пристрій для реєстрації природного електромагнітного поля Землі // Патент України № 70417 / G01V3008. 15.10.2004.

Матеріали дослідно-методичних електро-магнітних спостережень методом геополярного зондування, одержані у 27-му рейсі НДС "Владимир Паршин" над газоносними структурами пн.-зах. шельфу Чорного моря. Поряд с перспективними структурами (Біостромна, північноголицинська та Східношмідтовська) профіль перетинає такі відомі родовища, як Голицинське газоконденсатне, Південноголицинське та Шмідтовське газове. Просторовий зв'язок покладів вуглеводнів і тектонічних порушень, що формують сучасну конфігурацію південної межі Східно-Європейської платформи, свідчить про провідну екрануючу роль розломів у вертикальній міграції газофлюїдних потоків.

The materials are presented of the pilot methodical geopolaritonic sounding of gas-bearing features on the NW Black Sea shelf during the 27th cruise of the R/V "Vladimir Parshin". A profile runs across the prospective features (Biostromnaya, Severogolitsinskaya, Vostochnogolitsinskaya) and the known fields (gas-condensate Golitsinskoye, gas Yuzhnogolitsinskoye and Shmidtovskoye). A spatial relationship is revealed between the hydrocarbon deposits and tectonic distortions forming the present-day southern margin of the East European Platform that clearly demonstrates the leading role of faults in the vertical migration of gas and fluid flows.