

УДК 550.8.05:552.578.061.4(571.51)

Берсенева Н.Я.ООО «ТюменНИИгипрогаз», Красноярск, Россия, bersenevanya@kras.tngg.info

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРИ ПОИСКАХ ЗОН НЕФТЕГАЗОНАКОПЛЕНИЯ В ОМОРИНСКОМ РАЙОНЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Предложена методика комплексной обработки геолого-геофизических материалов при поисках перспективных зон нефтегазонакопления, когда традиционные нефтегазопоисковые методы, предусматривающие поиски структурных ловушек с дальнейшим разбуриванием их поисковым бурением, неприемлемы. В пределах Оморинского нефтегазоносного района выявлена приуроченность продуктивных скважин к зонам («окнам»), которые характеризуются отсутствием газовыделения пропана, совпадают с аномалиями сейсмической декомпозиции в зонах разломов с учётом структурных и литофациальных факторов и несут информацию о наличии пластов-коллекторов в разрез.

***Ключевые слова:** азимут простирания аномалий, аномалии пропана, градиент поля, зоны разрывных нарушений, корреляционно-пространственный анализ, метод комплексной сейсмической декомпозиции, Оморинский нефтегазоносный район, Восточная Сибирь.*

В последнее время к Красноярскому краю, обладающему значительными потенциальными ресурсами углеводородов (УВ), недропользователи проявляют большой интерес. Согласно программе социального развития Восточной Сибири и Дальнего Востока на период до 2030 г., Красноярский край обладает ресурсами в 55,8 млрд. т УУВ, но открыто в крае пока месторождений с промышленными запасами менее 2 млрд. т.

В современных условиях на территории Красноярского края в производстве геологических исследований особую значимость приобретают малозатратные геофизические и геохимические работы (гравиразведка, магниторазведка, геохимическая съёмка), а также переработка и более углубленный анализ накопленной геолого-геофизической информации.

За последние три года в Оморинском нефтегазоносном районе (НГР) пробурено шесть поисковых и разведочных скважин, но только в одной получен промышленный приток нефти (скв. Камовская-1). Большое количество пустых скважин, влекущее за собой значительные финансовые затраты, выдвигает на первый план необходимость качественной подготовки площадей и структур для проведения поискового бурения. Особенно это важно для районов со сложным строением осадочного чехла и фундамента, к которым относится Оморинский НГР.

Геологический разрез территории исследования представлен породами протерозоя и нижнего палеозоя. На кристаллическом фундаменте, сложенным гранито-гнейсами, залегают

дислоцированные рифейские толщи карбонатно-терригенного состава, мощностью порядка 3500 м. На них с глубоким размывом залегают отложения вендского комплекса мощностью до 600 м, сложенные прослоями песчаников, алевролитов и аргиллитов, сменяющихся вверх по разрезу карбонатами. Породы венда перекрыты карбонатно-галогенной толщей нижнего кембрия (до 2000 м). И венчает разрез толща средне-верхнего кембрия (эвенкийская свита) мощностью до 500 м.

Основными перспективными уровнями в Оморинском НГР являются верхняя часть рифейских карбонатных толщ (по которым развивались трещинно-кавернозные высокоёмкие коллекторы) и вышележащие терригенные и терригенно-карбонатные отложения венда. Но, несмотря на сравнительно густую сеть сейсмических профилей, здесь уверенно выделены единичные локальные поднятия. В связи с этим, традиционных нефтегазопроисковых методов, предусматривающих поиски структурных ловушек с дальнейшим их разбуриванием, здесь недостаточно. Поэтому лучше рассчитывать на обнаружение литолого-стратиграфических ловушек УВ, к которым и приурочены Оморинское и Камовское месторождения. Проблема открытия таких месторождений заключается в том, что горизонты коллекторов как в вендских, так и в рифейских толщах, не выдержаны по простиранию и часто замещаются непроницаемыми породами. В связи с этим задача поисков залежей УВ, прежде всего, сводится к обнаружению зон коллекторов на перспективных уровнях с учётом их структурного положения. Для поиска зон нефтегазонакопления были решены следующие задачи:

1. Детальное изучено строение территории исследования, определены основные аномалиеобразующие объекты, связанные с особенностями строения фундамента, рифейско-вендских отложений и интрузивных образований. По сочетанию различных характеристик геофизических полей между собой установлен возможный состав структурно-вещественных комплексов.

2. Выделены зоны разрывных нарушений и их узлы пересечения разных азимутов простирания, которые являются ослабленными участками с аномальной тектонической раздробленностью и трещиноватостью, повышенной геодинамической подвижностью и проницаемостью, как для флюидов, так и для траппов.

3. Определены закономерности распределения перспективных зон для скопления УВ на основе комплексной интерпретации геофизических данных путём сочетания зон разрывных нарушений с аномалиями сейсмической декомпозиции и отсутствием газовыделения пропана (или незначительными проявлениями метана).

На первом этапе проведено изучение физических свойств горных пород территории исследования. Было установлено, что в Оморинском НГР породы геологического разреза можно условно разделить на пять сейсмогеологических и геоэлектрических комплексов, отличающихся друг от друга по совокупности физических свойств. **К первому комплексу** отнесены породы кристаллического фундамента, представленные гранито-гнейсами (скв. Енгидинская-154) и двупироксеновыми, гиперстеновыми, амфибол-пироксеновыми и гранатсодержащими гнейсами и сланцами плотностью от 2,58 до 2,9 г/см³, высокой магнитной восприимчивостью $2350-5150 \times 10^{-5}$ ед. СИ и сопротивлением сотни-тысячи Ом*м³.

Рифейские терригенно-карбонатные и терригенные отложения **второго комплекса** (скв. Верхнетайгинская-1, скв. Оморинская-2, 3, 4, 5, 7, 8, 10) являются высокоомными (до сотен Ом*м) плотностью 2,6 - 2,68 г/см³, магнитной восприимчивостью от 10×10^{-5} ед. СИ (для карбонатно-терригенной толщи) до $10-30 \times 10^{-5}$ ед. СИ (для глинисто-карбонатных отложений) со средними пластовыми скоростями продольных волн в рифейских отложениях от 5,02 – 7,60 км/с.

На рифейском комплексе с угловым и стратиграфическим несогласием залегают вендские терригенно-карбонатные отложения **третьего комплекса** (ванаварская и оскобинская свиты) с суммарной мощностью 60-333 м. Отложения являются высокоомными 40-150 Ом*м, слабомагнитными, с максимальными значениями магнитной восприимчивости до 35×10^{-5} ед. СИ средней плотностью 2,54 – 2,66 г/см³ и продольной скоростью 4,2 км/с - 5,1 км/с.

Четвертый комплекс включает карбонатно-глинистые и карбонатные породы катангской, собинской, тэтэрской свит и кембрийские галогенно-карбонатные породы усольской, бельской, булайской, ангарской, литвинцевской свит.

Карбонатно-глинистые и карбонатные породы катангской, собинской, тэтэрской свит характеризуются плотностью 2,7 г/см³, магнитной восприимчивости $15-35 \times 10^{-5}$ ед. СИ, удельным сопротивлением 5-50 Ом*м и продольной скоростью 6 – 6,4 км/с. Галогенно-карбонатные отложения комплекса имеют плотность 2,55-2,73 г/см³, немагнитные с удельным сопротивлением 150-300 Ом*м и продольной скоростью 4,4 – 6,5 км/с.

Пятый комплекс включает терригенные и карбонатно-терригенные отложения эвенкийской свиты, ордовика и четвертичной системы плотностью 2,3-2,68 г/см³, магнитной восприимчивости $5-100 \times 10^{-5}$ ед. СИ, удельным сопротивлением 5-50 Ом*м и продольной скоростью 3 – 4,5 км/с.

На основании детального изучения физических свойств пород определены основные аномалиеобразующие объекты, связанные с особенностями строения фундамента, рифейско-вендских отложений и интрузивными образованиями. Основными литологическими и структурно-тектоническими особенностями, которые находят отражение в гравимагнитных полях, являются следующие:

- фундамент гранитоидного состава (интрузии кислого состава) выделяется отрицательными гравимагнитными аномалиями;

- положительные гравитационные и отрицательные магнитные аномалии увязываются с карбонатными толщами рифея;

- пластовые интрузии долеритов увеличенной мощности в осадочном чехле или участки секущих интрузий траппов в верхней части разреза характеризуются положительными гравитационными аномалиями. В магнитном поле (ΔT)а эти образования в зависимости от намагниченности создают положительные, отрицательные или знакопеременные аномалии;

- отрицательные гравитационные и магнитные аномалии являются либо индикаторами разломных зон (зоны дезинтеграции горных пород) в осадочном чехле, либо локальными участками резкого увеличения мощности каменной соли в нижнекембрийских отложениях;

- отрицательными аномалиями силы тяжести и положительными магнитными аномалиями картируются приразломные зоны, депрессии эрозионной поверхности, выполненные увеличенной мощностью терригенных отложений венда.

На этом же этапе исследования проведена автоматизированная комплексная обработка геофизических данных. В региональном плане и в рамках Оморинского НГР на основе детального анализа потенциальных полей проведено изучение морфологии гравимагнитных полей, выполнена статистическая обработка имеющихся геолого-геофизических данных с применением кластерного анализа по выделению классов на основе потенциальных, сейсморазведочных материалов и электроразведочных данных. Для выполнения комплексной обработки геофизических данных использованы сводные карты поля силы тяжести масштаба 1:200 000 и аномального магнитного поля (ΔT)а масштабов 1:50 000 и 1:1000000; аномальные плотности пропана и метана масштаба 1:50000; сводные карты суммарной проводимости и проводимости подсолевых терригенных отложений третьего комплекса; структурные карты масштаба 1:200 000 по отражающим сейсмическому горизонтам R₄, R₃, R₀, Б.

По результатам автоматизированной комплексной обработки геофизических данных в региональном плане по поверхности фундамента выделяются два блока А и Б первого порядка, приуроченные к двум разным структурам первого порядка – Камовскому выступу и Иркинеевско-Катангскому авлакогену. В пределах Оморинского НГР территория исследования по эрозионной поверхности рифея приурочена к южному склону Камовского свода, восточная часть которого имеет более высокое структурное положение (Камовский мегавыступ), чем западная и центральная части. А структуры центральной части, выделенные по фундаменту в пределах авлакогена, имеют обратное структурное положение и могут представлять поисковый интерес (Камовско-Терский грабенообразный прогиб, Вельминская впадина) (рис. 1). Эта зона сопряжения является благоприятной для накапливания продуктивных толщ.

Одной из важных и сложных задач является картирование разломов и зон разрывных нарушений, контролирующих перемещение блоков фундамента и участвующих в формировании мощности осадочного чехла, его структурного положения, что в дальнейшем оказывает существенное значение на прогнозную оценку перспективности территории. Для картирования дизъюнктивных нарушений по данным потенциальных полей наряду с традиционными геологическими методами выполнен качественный и корреляционно-пространственный анализ геофизических полей на основе изучения градиентных характеристик потенциальных полей их трансформант [Тяпкин, Кивелюк, 1982; Самков, 2005].

Преобразование полных горизонтальных градиентов гравимагнитных полей в схемы азимутов их простирания позволило установить, что они располагаются не произвольно и хаотично, а характеризуются выдержанностью азимутов простирания и их взаимной ортогональностью [Тяпкин, Кивелюк, 1982; Старосельцев, 2008]. Выделено четыре основных азимута простирания аномалий полного горизонтального градиента в гравимагнитных полях: широтный, меридиональный, северо-восточный и северо-западный. Выделенные в процессе анализа азимуты простирания аномалий полного горизонтального градиента использовались в качестве ориентира для трассирования глубинных разломов и разрывных нарушений.

Разломы и зоны разрывных нарушений оттрассированы по полным горизонтальным градиентам гравимагнитных полей. Они представляют собой границы аномальных объектов, картируются контрастными линейно-вытянутыми зонами повышенных полных горизонтальных градиентов и характеризуются выдержанностью азимутов простирания и их взаимной ортогональностью [Шульц, 1973].

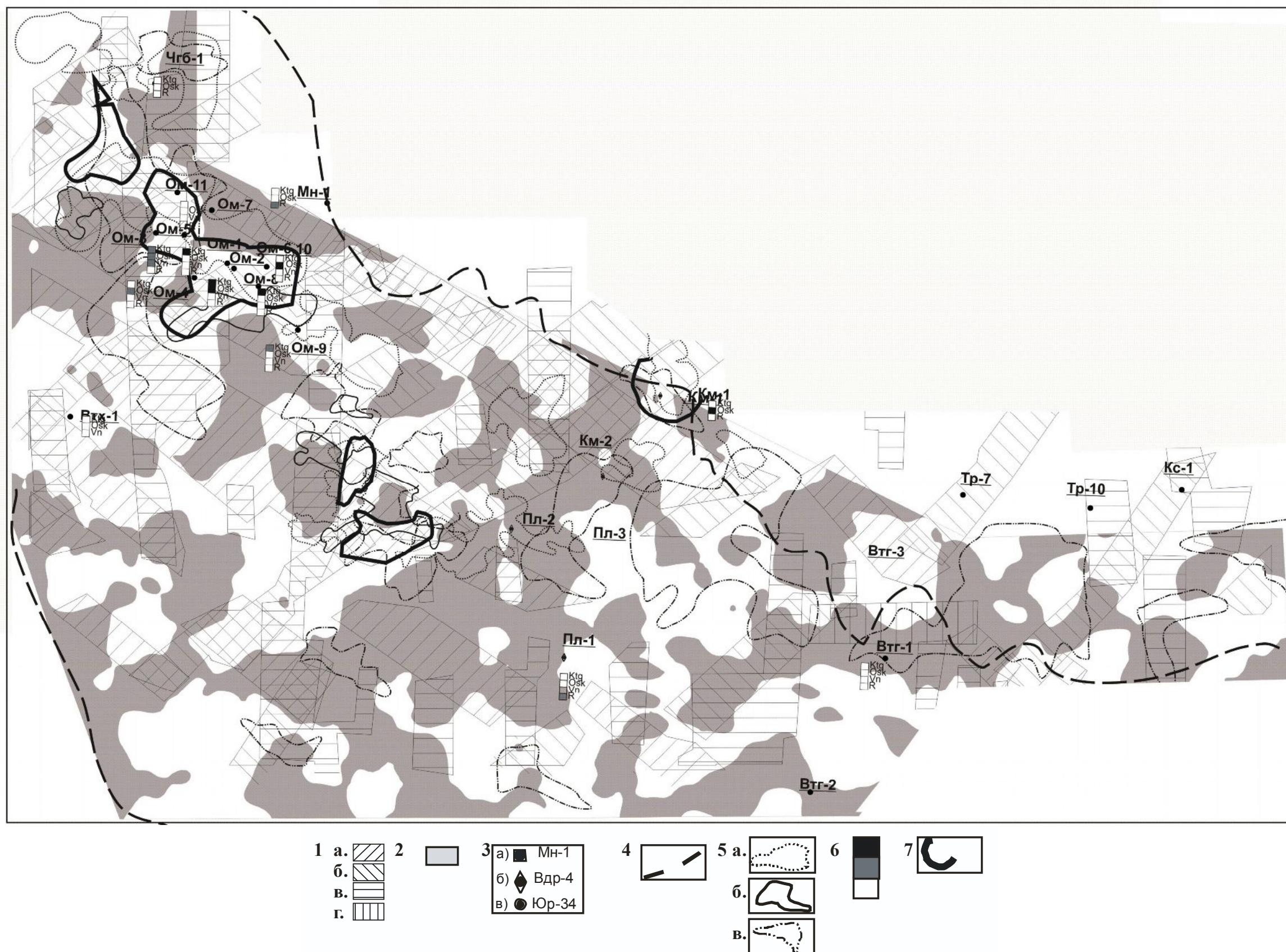


Рис. 1. Схема аномальной плотности газовых потоков пропана с аномалиями комплексной декомпозиции и зонами разломов

1. зоны разломов различного простирания: а. - северо-восточного, б. - северо-западного, в. - меридианального, г. - широтного; 2. аномальные плотности пропана; 3. скважины глубокого бурения; 4. границы Оморинского нефтегазоносного района; 5. аномалии комплексной сейсмической декомпозиции: а. – оскобинско-катангский уровень, б. – ванаварский уровень, в. – рифейский уровень; 6. результаты испытаний по стратиграфическим горизонтам: черный цвет – газ, нефть, серый цвет - вода, белый цвет – не испытывался или сухо; 7. перспективные зоны на поиски УВ в рифейском и вендском нефтегазоносных комплексах.

Необходимо остановиться на сравнительной характеристике всех дизъюнктивных дислокаций выделенных ранее. В региональном плане трассируются два класса тектонических нарушений: межблоковые (региональные) и внутриблоковые дизъюнктивы. Региональные разломы характеризуются значительной протяжённостью (сотни километров) и шириной (десятки километров) в геофизических полях. Внутриблоковые нарушения пространственно совпадают с направлением региональных разломов и характеризуются выдержанностью азимутов простирания и их взаимной ортогональностью.

Выявлена определённая зависимость увеличение ширины зон тектонических нарушений от их возраста (от среднего палеозоя к рифею). Зоны разрывных нарушений северо-восточного направления контролируют увеличение мощности рифейских отложений и характеризуются шириной зон разломов 2-18 км. Региональные разломы северо-западного направления с шириной зон разломов 4-13 км контролируют условия осадконакопления вендских отложений, что также выражается в увеличении их мощности.

Для определения роли дизъюнктивной тектоники в строении и формировании залежей УВ проведено сопоставление структурных карт по поверхности фундамента, отражающим горизонтам R_4 , R_3 , R_0 , Б и геологической картой. Сопоставление схемы по эрозионной поверхности фундамента и зон разломов показало, что наиболее значимая роль в формировании этого структурного этажа принадлежит разлому широтного простирания, который только частично захватывает изучаемую территорию. Это межблоковый разлом, который фактически разделяет участок на два крупных блока А и Б, выделенные по материалам потенциальных полей, и является границей структур первого порядка – Камовского свода и Иркинеевско–Катангского авлакогена. На основании количественной интерпретации геофизических данных амплитуда смещения по этому нарушению может достигать сотни и более метров, глубина залегания фундамента в блоке Б 4,5 – 5,0 км, а в блоке А – 6,0 и более км. Влияние разлома широтного простирания фиксируется и в структурных планах выше залегающих отложений.

Вторым не менее значимым структурообразующим разломом (зоной разломов), более позднего заложения, является разлом северо-восточного простирания. Его влияние особенно четко фиксируется в более высоких структурных этажах. На структурной карте по отражающему горизонту R_4 по этому разлому проходит граница между областями с различным «стоянием» блоков фундамента и рифея. Вдоль этого нарушения проходит линия выклинивания отражающего горизонта R_3 . По эрозионной поверхности рифея его роль несколько завуалирована, но он контролирует флексуобразное поведение изогипс, подчеркивая западный контур, структуры второго порядка Вэдрэшевского выступа. При сопоставлении со структурной картой по горизонту Б чётко прослеживается зависимость с

зонами северо-западного простирания, которые контролируют осадконакопление вендских отложений.

По результатам анализа геологической карты совместно с зонами разломов какой-либо четкой связи не выявлено. На первый взгляд, просматривается слабая зависимость выходов интрузий с зонами меридианального и северо-восточного простирания. Разломы, выделенные по геологическим данным и дешифрированию космоснимков, в силу интегральности методов и отражения, в основном неоднородностей верхней части разреза и ландшафтных условий, рассматриваются в качестве дополнительных признаков наличия разломов осадочного чехла.

Таким образом, можно проанализировать роль всех выделенных зон разломов, участвующих в строении Оморинского НГР.

Подводя итоги можно констатировать следующее:

- роль нарушений в формировании структурного плана территории на различных этапах ее развития существенна;
- в пределах исследуемой площади выделяются четыре структурообразующие зоны разломов – широтного, меридианального, северо-западного и северо-восточного простирания, оказавших влияние на процессы осадконакопления;
- достоверность выделения нарушений значительно повышается при комплексном анализе геолого-геофизических материалов;
- зоны разломов на исследуемой территории являются сквозными флюидопроводящими системами.

На третьем этапе исследований определены закономерности распределения перспективных зон для скопления УВ на основе геофизических и геохимических данных путём сочетания зон разрывных нарушений с аномалиями CSD и отсутствия газовыделения пропана (или незначительными проявлениями метана).

Для прослеживания и определения вероятного контура развития пластов-коллекторов в отложениях венда-риффея и оценки их флюидонасыщения использованы результаты специальной обработки сейсмических материалов методом комплексной сейсмической декомпозиции.

Метод комплексной сейсмической декомпозиции изучает слоистые среды путём параметрического спектрального анализа интервалов сейсмической записи и основан на нелинейной (квадратичной) зависимости затухания сейсмического сигнала от частоты в случае прохождения его через разуплотнённую трещинную или пористую среду насыщенную флюидами. Объясняется этот эффект неупругим поглощением и рассеиванием сейсмической энергии в толщах коллекторов. С помощью метода комплексного сейсмического разложения

можно проводить извлечение резонансных характеристик из сейсмических данных и использовать их для разделения разреза на плотные и поровые интервалы на основе затухания. Этот метод и был выбран для прослеживания и определения вероятного контура развития пластов-коллекторов на перспективных рифейско-вендских уровнях и оценки их флюидонасыщения, которые представлены на рис. 1.

Теоретической базой применения газовой съемки для поисков зон нефтегазонакопления является представление о диффузионно-фильтрационном массопереносе УВ из зон скопления в перекрывающие их породы. Над залежами УВ наблюдаются два типа возможных аномалий. Первый тип представляет собой фоновое повышение содержаний УВ непосредственно над зонами скопления, возникающее под воздействием диффузии. Второй тип возникает в результате фильтрационного массопереноса и проявляется в виде локальных повышений содержаний УВ в зонах тектонических нарушений. Вполне очевидно, что пространство над залежью не может быть проницаемым, поскольку невозможна была бы её сохранность. Логично предположить, что поступление газов в атмосферу осуществляется в зонах разрывных нарушений, а особенно в узлах пересечения разломных зон разных азимутов простирания, которые являются ослабленными участками с аномально-тектонической раздробленностью (трещиноватостью), повышенной геодинамической подвижностью и проницаемостью флюидов [Мавричев, Молодцов, 1999].

Наибольший интерес для прогноза залежей УВ представляют аномальные плотности газовых потоков. Пропан, благодаря повышенной плотности (в 2,5 раза тяжелее воздуха) и пониженной, по сравнению с метаном, миграционной способностью, создаёт на дневной поверхности более устойчивые по времени аномалии и локализуется ближе к источникам УВ. Поэтому приоритет в целевой интерпретации отдавался геохимическому полю пропана. Анализ аномальной плотности пропана позволил выделить отдельные участки геохимических аномалий надфоновых содержаний. Выделенные локальные участки повышенных газовых содержаний (второй тип газовых аномалий) группируются в определенную субкольцевую зональность на севере площади и представляют собой фоновое повышение содержаний УВ непосредственно над зонами их скопления (первый тип газовых аномалий) [Мавричев, Молодцов, 1999].

При рассмотрении роли дизъюнктивов, как флюидопроводящих каналов, использовано формальное сопоставление выделенных зон разломов с такими параметрами, как аномальной плотностью газовых потоков пропана и аномалии сейсмической декомпозиции.

При простом совмещении карт аномальной плотности газовых потоков пропана с зонами разломов и их узлов пересечения при наличии аномалий сейсмической декомпозиции, прежде всего, напрашивается вывод о флюидопроводящих свойствах

разломов и неспособности удерживать УВ. Выделенные зоны разломов, а особенно узлы пересечения разломных зон, являются ослабленными участками с аномально-тектонической раздробленностью (трещиноватостью), повышенной геодинамической подвижностью и проницаемостью, как для флюидов, так и для траппов. При выделении таких зон можно говорить о бесперспективности этих участков, так как они в большей степени подвержены воздействию эрозионных процессов, влияющих на сохранность УВ.

Выделение «окон» отсутствия аномальной плотности пропана, пространственно совпадающих с зонами разломов (а особенно их узлов пересечения) в пределах контуров развития пластов-коллекторов методом комплексной сейсмической декомпозиции CSD с учётом их структурного положения (в пределах Камовско-Терского грабенообразного прогиба, Вельминской впадины) позволило локализовать перспективные зоны на поиски УВ в рифейском и вендском нефтегазоносных комплексах (см. рис. 1).

Таким образом, при поисках зон нефтегазонакопления на основании геолого-геофизического анализа автором получены следующие основные результаты:

1. Построены систематизированные схемы систем разломов фундамента и осадочного чехла на территории Оморинского НГР.

2. Установлена зависимость формирования скоплений УВ от времени активизации разломов и их зон.

3. Показана важная роль систем разломов при комплексном сопоставлении с результатами обработки потенциальных полей с данными сейсморазведки и геохимии.

4. Определена существенная роль влияния разрывных нарушений на формирование залежей УВ и структурных планов на различных этапах развития территории. Зоны разломов на исследуемой территории являются сквозными системами, флюидопроводящими и не способными «удерживать» УВ. Наибольший нефтегазопоисковый интерес в пределах зон разломов и их узлов могут представлять зоны («окна») между аномалиями по газам в пределах контуров аномалий CSD.

По результатам геолого-геофизической интерпретации сделан вывод, что большинство зон разломов являются открытыми (сквозными) системами, в пределах которых не могут формироваться залежи УВ, но они являются флюидопроводящими. Этот же вывод подтверждается тем, что все приточные продуктивные скважины Оморинского (скв. Оморинская-2, 5, 8) и Камовского (скв. Камовская-1) месторождений, расположенные в «окнах» отсутствия газовыделения пропана в разломных зонах, находятся за контурами или на краю аномалий по газу.

Комплекс геофизических признаков позволяет в качестве перспективных участков при поисках залежей УВ рекомендовать «окна» отсутствия газовыделения пропана, которые

совпадают с аномалиями CSD и попадают в зоны тектонических нарушений и их узлы, учитывая структурные и литофациальные факторы.

Литература

Мавричев В.Г., Молодцов И.В. Радиометрические аномалии над месторождениями нефти и газа //Отечественная геология, 1999. - №2. - С. 59-64.

Самков В.В. Системы линеаментов Центральной Сибири. - Красноярск: КНИИГиМС, 2005. - 68 с.

Старосельцев В.С. Актуальные проблемы тектоники нефтегазоперспективных регионов. Новосибирск: Наука, 2008. - С. 163-175.

Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т. Изучение разломных и складчатых структур докембрия геолого-геофизическими методами. - М: Недра, 1982. - 239 с.

Шульц С.С. Планетарная трещиноватость. - Л.: Наука, 1973. - С. 5-37.

Рецензенты: Кочнев Владимир Алексеевич, доктор технических наук;
Вальчак Владимир Иванович, кандидат геолого-минералогических наук.

Berseneva N.Ya.

Ltd "TyumenNIIgiprogaz", Krasnoyarsk, Russia, bersenevanya@kras.tngg.info

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INTERPRETATION IN OIL AND GAS FIELD EXPLORATION IN OMORINSK REGION OF EASTERN SIBERIA

The method of complex processing of geological and geophysical data in oil and gas exploration for prospective areas where conventional oil and gas recovery techniques of structural traps with further primary drilling are unacceptable has been proposed.

Within Omorinsk oil and gas field the connection of productive wells with the areas («gaps»), characterized by the absence of propane gas emission, coinciding with the anomalies of seismic decomposition in fault zones considering structural and litho-facial factors has been revealed. These areas provide information on layer- reservoirs in the cross-section.

Key words: *azimuth spread anomalies, anomalies of propane, field gradient, zone of faulting, correlation and spatial analysis, method of complex seismic decomposition, Omorinsky oil and gas region, Eastern Siberia.*

References

- Mavričev V.G., Molodcov I.V.* Radiometričeskie anomalii nad mestoroždeniâmi nefiti i gaza //Otečestvennaâ geologiâ, 1999. - #2. - S. 59-64.
- Samkov V.V.* Sistemy lineamentov Central'noj Sibiri. - Krasnoârsk: KNIIGiMS, 2005. - 68 s.
- Starosel'cev V.S.* Aktual'nye problemy tektoniki neftegazoperspektivnyh regionov. Novosibirsk: Nauka, 2008. - S. 163-175.
- Tâpkin K.F., Kivelûk T.T.* Izučenie razlomnyh i skladčatyh struktur dokembriâ geologo-geofizičeskimi metodami. - M: Nedra, 1982. - 239 s.
- Šul'c S.S.* Planetarnaâ trešinovatost'. - L.: Nauka, 1973. - S. 5-37.

© Берсенева Н.Я., 2010