

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОПОРНЫХ ПРОФИЛЯХ

Представленные в статье работы выполнялись в соответствии с Федеральной целевой программой «Экология и природные ресурсы России». Исследования проводились по Государственному контракту «Комплексная интерпретация данных исследований на опорных геофизических профилях» с 2002 по 2005 год и были нацелены на построение физико-геологических прогнозно-поисковых моделей глубинного строения земной коры по опорным геофизическим профилям 1-ЕВ, 1-СБ, 2-СБ, 3-СБ, 2-ДВ.

Проведенные работы охватывают практически весь круг задач комплексной интерпретации данных, получаемых на опорных геофизических профилях: от программно-технического и информационного обеспечения до методических решений и их реализации применительно к имеющимся на конец 2002 года материалам по опорным профилям.

Основная идейная направленность рассматриваемых исследований заключалась в построении и реализации комплексной интерпретации различной геофизической информации (данных МОВ-ОГТ, МТЗ, гравиразведки, магниторазведки) и в различных геологических условиях с единым подходом и с ориентацией на получение физических характеристик земной коры, как объективной основы построения геологических моделей земной коры.

В рамках проведенных исследований основной задачей являлось создание прогнозно-поисковых геолого-геофизических моделей строения земной коры и минерагенический прогноз минерального сырья по фрагментам опорных профилей 1-ЕВ, 1-СБ, 2-СБ, 3-СБ, 2-ДВ, в том числе:

- построение слоисто-блоковых моделей земной коры с выделением реперных физико-геологических границ;
- выполнение типизации моделей земной коры по физико-геологическим признакам и их сопоставление с особенностями строения известных месторождений полезных ископаемых;
- выделение зон нарушения сплошности среды, зоны повышенной трещиноватости и расслоенности, как вероятных флюидопроводящих геологических объектов;
- прогноз вещественного состава горных пород земной коры с локализацией условий благоприятных для формирования полезных ископаемых.

При решении этих задач использовалась ГИС-ИНТЕГРО-ГЕОФИЗИКА, в том

числе для:

- получения методных интерпретационных моделей;
- построения комплексных (согласованных) моделей;
- создания базы данных исследований на опорных геофизических профилях.

Методные модели глубинного строения земной коры были нами получены в результате углубленной обработки, постобработки и интерпретации данных каждого геофизического метода – сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки, электроразведки [3].

Сейсмическими исследованиями на опорных профилях обеспечивалось построение облика земной коры в виде совокупностей модификаций сейсмических разрезов и количественное описание модели коры на основе оценок глубинно-скоростных характеристик. Для решения первой задачи использовались как обработка исходных сейсмограмм на отдельных фрагментах профилей, так и пост-обработка временных разрезов. Обработка с получением динамических временных и глубинных разрезов выполнялась средствами системы VELINK (ООО «Геотехсистем») и соответствующих приложений ПМК «Интегран» (ВНИИГеосистем), а постобработка только средствами последнего [2].

Постобработкой временных разрезов предусматривалось:

- дополнительные регулировки амплитуд;
- полосовая, обратная, двумерная (веерная, медианная) фильтрация;
- комплекс сейсмоэнергетических преобразований (помимо преобразований Гильберта), включающих получение оценок энергии сигналов в различных окнах, их относительных величин, среднеквадратических отклонений, коэффициентов вариации;
- ЭКО-преобразование;
- ПАК-преобразование и оценка по ним среднеквадратических отклонений (СКО-ПАК), как элемента сейсмо-энергетических преобразований;
- построение разрезов относительной спектральной характеристики с оценкой возможной модели частотно зависимого поглощения;
- прослеживание опорных, в том числе условных отражающих горизонтов (в земной коре), необходимых для построения глубинно скоростных моделей;
- преобразование время-глубина для любых модификаций временных разрезов.

Построение глубинно скоростной модели (как осадочного чехла, так и земной коры в целом) проводилось по значениям T_0 отражающих горизонтов и экстремумов горизонтальных спектров скоростей в рамках слоистой локально-однородной среды с

использованием обобщенного метода взаимных точек.

Для построения геоэлектрического разреза проводились анализ и интерпретация данных магнитотеллурических зондирований, выполняемых программными средствами ООО «Северо-Запад».

Анализ МТ-данных [1], проводился по следующей схеме:

- 1) анализ параметров неоднородности тензора импеданса N , $Skew$, η по профилю;
- 2) анализ полярных диаграмм и определение главных направлений;
- 3) расчёт квазипродольных и квазипоперечных кривых МТЗ;
- 4) нормализация кривых кажущегося сопротивления;
- 5) анализ разрезов кажущегося сопротивления (ρ) и фазы импеданса;
- 6) расчет вертикального градиента кажущегося сопротивления.

Далее выполнялась интерпретация полученных данных по следующей схеме:

- разбиение профиля на участки, выбор направлений интерпретационных профилей на участках;
- автоматизированная двумерная инверсия (по программе Р. Мэки). При этом модель строится таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить наилучшее совпадение наблюдаемых и модельных кривых по профилю, а с другой – максимальную гладкость изменения сопротивления в разрезе.

Отличительной чертой предложенных схем анализа и интерпретации является использование минимального количества априорной информации о геоэлектрическом разрезе.

Для получения распределения в плоскости разреза прогнозных значений эффективной плотности и намагниченности использовалось построение объемных моделей распределения эффективной плотности и эффективной намагниченности изучаемого района.

Трёхмерные модели распределения плотности строились путем вычисления трансформант потенциальных полей (алгоритмы Петрова А.В., Приезжева И.И.). Этими моделями описываются распределения избыточных физических свойств изучаемой среды. Поэтому для получения плотностной модели проводилось нормирование параметра эффективной плотности и получение плотностного разреза с учетом изменения плотности с глубиной.

По магнитному полю строилось 3-D распределение эффективных источников программным комплексом DVOP (Блох Ю.И. и др.), который включает в себя выполнение следующих последовательных процедур:

- вычисление двумерного спектра Фурье анализируемого поля;

- определение с помощью оптимального фильтра значений глубин, на которые будет выполняться аналитическое продолжение поля, и спектрального окна, отвечающего этим глубинам;
- аналитическое продолжение анализируемого поля на эти уровни;
- вычисление значений соответствующего эффективного параметра.

Построение разреза эффективных плотностей и намагниченности в плоскости сейсмического разреза осуществлялось с помощью процедур, встроенных в ГИС ИНТЕГРО ГЕОФИЗИКА, обеспечивающих получение сечения из 3D модели по любому заданному направлению.

Результаты методной обработки на примере фрагмента опорного профиля 1-СБ приведены на рис. 1.

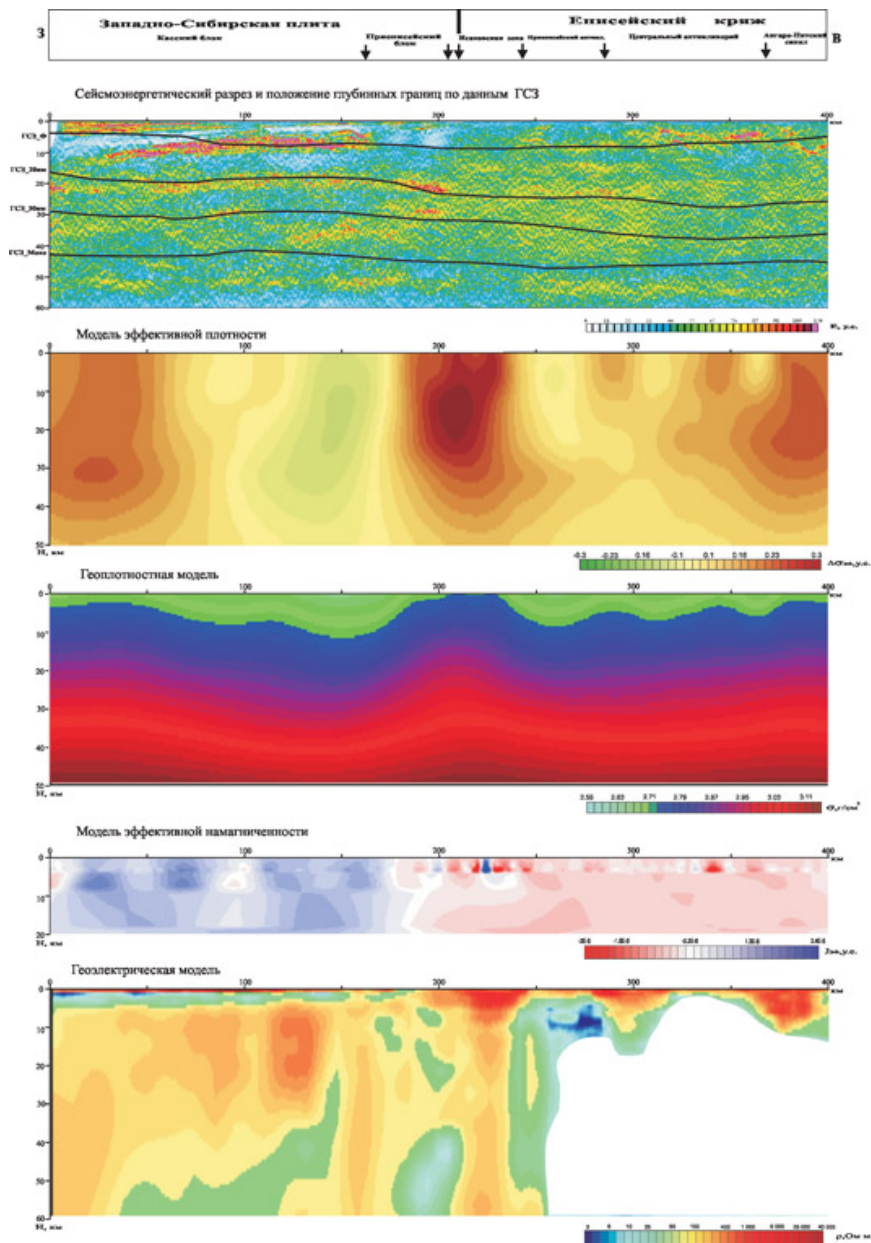


Рис. 1 Модели глубинного строения земной коры по данным сейсморазведки, грави- и магниторазведки, электроразведки по опорному профилю 1-СБ

Построение комплексной (обобщенной, согласованной) модели по результатам методной интерпретации данных сейсморазведки (МОВ-СОГТ, ГСЗ-КМПВ), потенциальных полей и электроразведки (МТЗ) выполнялось в предположении о том, что в земной коре границы неоднородностей, достаточно крупных по размеру и контрастных по физическим свойствам, должны быть совместимы в разных монометодных моделях с учетом оценки возможной неопределенности (погрешности) определения их геометрии.

В соответствии с этим была принята следующая схема согласования методных моделей:

- геометризация монометодных моделей, отображающая структурные особенности строения коры с локализацией возможных зон нарушений сплошности среды;
- согласование геометризованных монометодных моделей для установления генерализованных границ раздела в земной коре;
- оценка физических свойств (характеристики среднего и дисперсии) согласованной модели.

Исходными для *монометодной геометризации* разреза земной коры являются разрезы прогнозных значений эффективной плотности, намагниченности и проводимости (сопротивления) и данные сейсмического метода. Последние обеспечивают два типа отображения среды: в виде скоростных характеристик, как правило, в рамках блочной толстослойной локально однородной модели и в виде временных (глубинных) разрезов, описывающих с существенно большей детальностью относительные изменения жесткостных свойств среды. Сопоставление результатов обработки данных разных методов на фоне сейсмического разреза обеспечивает наилучшие условия для совместной локализации областей резкого изменения свойств среды. Для этого данные несейсмических методов должны быть преобразованы к относительной характеристике, подобной коэффициентам отражения и представляющей собой дифференциально нормированный параметр (ДН-параметр) [4], который представляет собой приращение по глубине логарифма жёсткости (плотности, намагниченности, сопротивления) $K_{omp} = \frac{1}{2} \frac{d}{dz} \ln P dz$, где P равен: для сейсморазведки $V \cdot \sigma$, (V – скорость распространения сейсмической волны, σ – плотность), для гравиразведки σ , (σ – плотность); для электроразведки ρ , (ρ – удельное электрическое сопротивление).

Экстремумы этих параметров приурочены к границам резкой смены, соответственно, сейсмической жёсткости, сопротивления, плотности.

При вычислении ДН-параметра в общем случае берется полный градиент, а при существенно субгоризонтальной неоднородности среды достаточно брать дифференциал

по Z . По значениям экстремумов ДН-параметра определяется его величина. Таким образом, в плоскости разреза получаются характеристики различных «отражающих» границ: субгоризонтальных, наклонных и субвертикальных. Имея характеристику неопределенности оценки положения глубины и углов наклона границ на плоскости разреза, производится прослеживание модулей экстремумов ДН-параметров и их последующее сопоставление с характером распределения сейсмической энергии.

В силу безразмерности полученных величин, они могут сопоставляться между собой и с сейсмическим разрезом прямым наложением с применением визуальных способов анализа, а также совместной обработкой с получением количественных корреляционных оценок связи этих параметров.

Учитывая, что ДН-параметр отображает степень относительной неоднородности среды, прослеживание в разрезе его экстремальных значений будет определять геометрию разделов в земной коре, которая формируется в двух вариантах – объединение экстремумов одного знака (положительных и отрицательных) либо объединение абсолютных значений экстремумов. Разрезы ДН параметров по фрагменту профиля 1-СБ приведены на рис. 2.

Целью *этапа согласования* геометризованных монометодных моделей является получение единой физико-геологической модели глубинного строения земной коры. Для этого устанавливаются генерализованные границы в земной коре. При этом проводится:

- локализация в разрезе наклонных и субвертикальных контактных зон, позволяющих построить каркас модели;
- формирование границ изменения свойств объектов на основе решения классификационных задач в плоскости разреза;
- построение генерализованной блоково-слоистой модели строения земной коры.

Входными данными для *оценки физических свойств* среды являются геометрия генерализованной блоково-слоистой модели земной коры и значения физических характеристик, представленные монометодными моделями. Единая физико-геологическая модель получается в результате оценки статистических характеристик (среднего, дисперсии) для каждого свойства в пределах замкнутых контуров (блоков) генерализованной модели. Таким образом, единая физико-геологическая модель представляет собой распределение в плоскости разреза имеющегося набора физических свойств, осредненных на единой геометрии границ блоков (рис. 3).

Затем проводится *прогноз вещественного состава* объектов (блоков, слоев) построенной модели. Для этого по двум или трем полученным физическим характеристикам среды проводится классификация. Пределы изменения физических

свойств каждого класса позволяют прогнозировать состав пород, слагающих разрез земной коры в пределах опорного профиля (рис. 4).

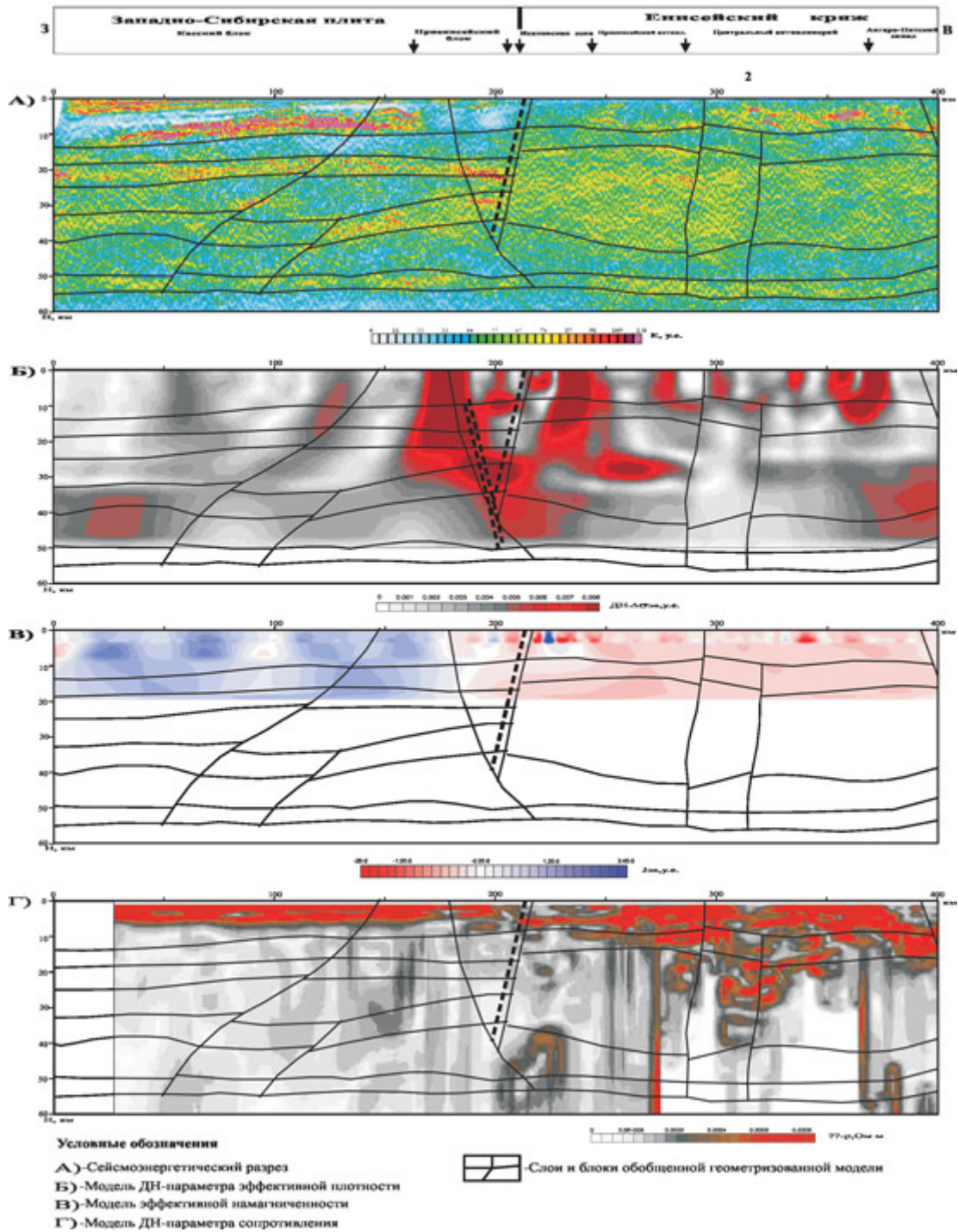


Рис. 2 Обобщенная геометризированная модель земной коры в сопоставлении с методными моделями по опорному профилю 1-СБ

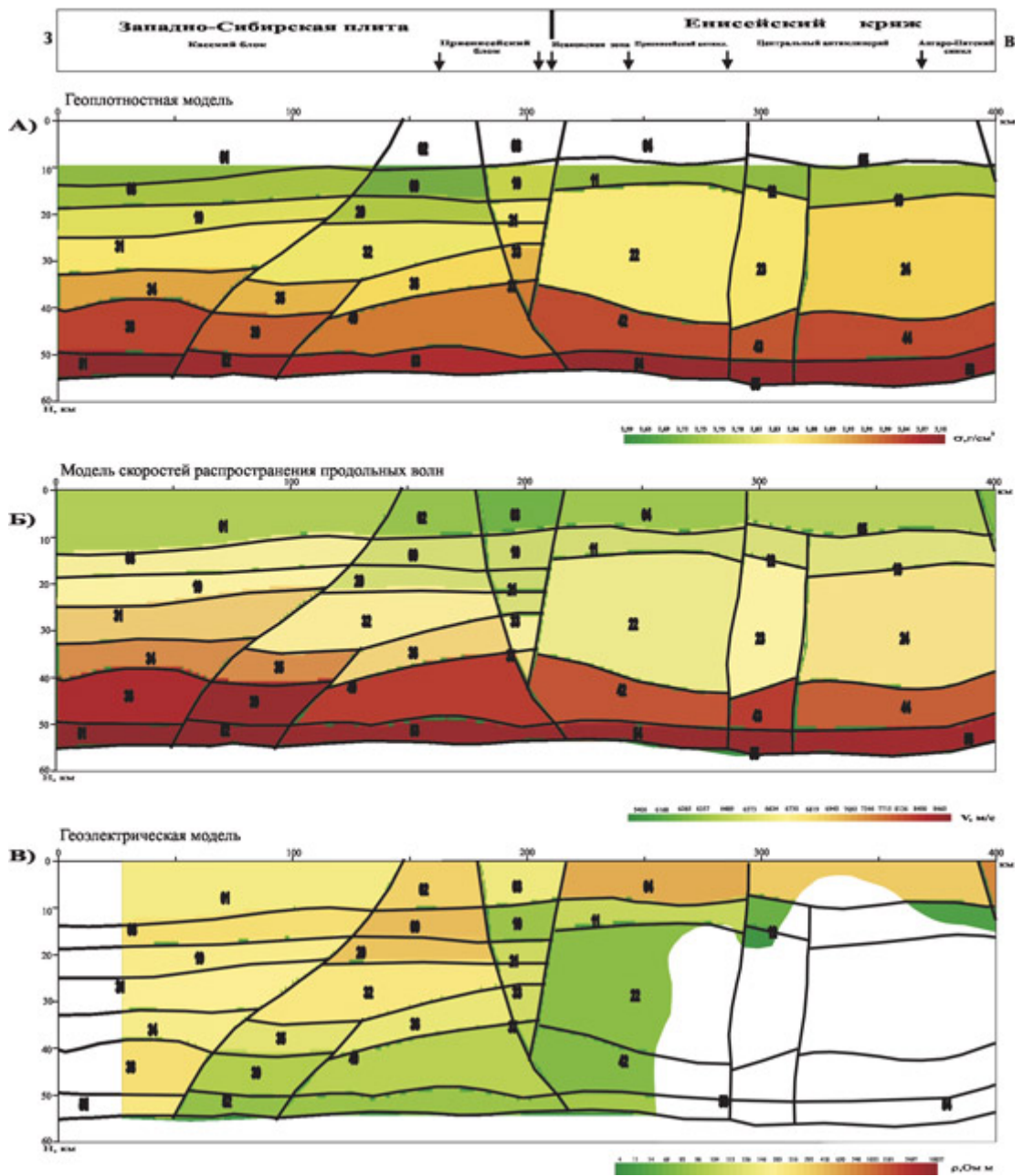
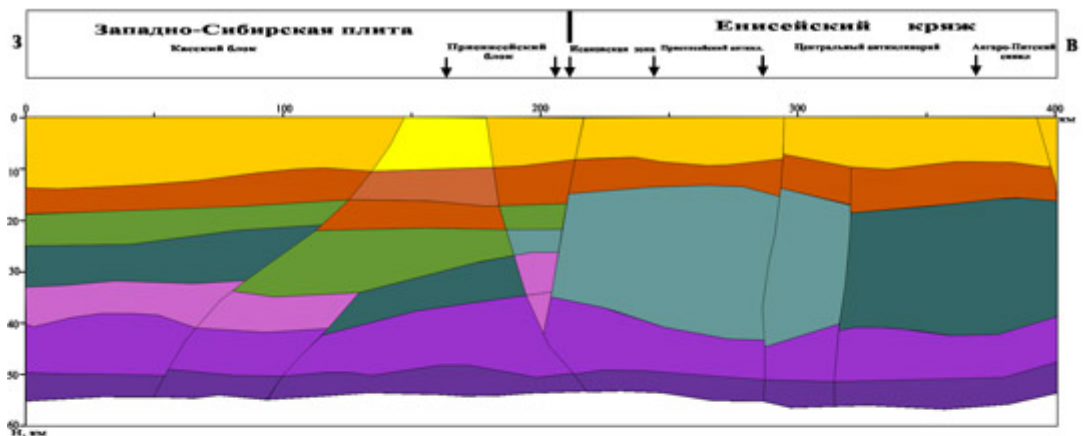


Рис. 3. Комплексная модель строения земной коры по профилю 1-СБ



Условные обозначения

- | | | |
|--|---|--|
| - $\sigma=2.63\text{г/см}^3$, $V=5800\text{м/с}$ терригенно-карбонатные отложения | - $\sigma=2.80\text{г/см}^3$ - 2.82г/см^3 , $V=6500$ - 7100м/с биотит-роговообманковые и амфиболовые сланцы, кристаллические гнейсы и магматические породы среднего состава | - $\sigma=2.93\text{г/см}^3$ - 2.98г/см^3 , $V=7600$ - 7800м/с габбро, базальты, сланцы роговообманковые |
| - $\sigma=2.64\text{г/см}^3$ - 2.7г/см^3 , $V=5600$ - 6100м/с карбонатно-терригенные отложения | - $\sigma=2.85\text{г/см}^3$ - 2.89г/см^3 , $V=7300$ - 7500м/с габбро, габбро-диабазы и амфиболиты | - $\sigma=3.0\text{г/см}^3$, $V=7900$ - 8300м/с дуниты, перидотиты, пироксениты и др. |
| - $\sigma=2.67\text{г/см}^3$ - 2.70г/см^3 , $V=6500\text{м/с}$ гнейсы, сланцы, магматические породы кислого состава; | - $\sigma=2.85\text{г/см}^3$ - 2.89г/см^3 , $V=6800$ - 7100м/с габбро, габбро-диабазы и амфиболиты (возможно повышенной трещиноватости) | - $\sigma > 3.07\text{г/см}^3$, $V > 8300\text{м/с}$ эклогиты и др. |
| - $\sigma=2.71\text{г/см}^3$ - 2.73г/см^3 , $V=6700$ - 7100м/с кварц-биотитовые, двуслюженные гнейсы и сланцы, магматические породы среднего состава (грано-диориты, диориты, монзониты) | | |

Рис. 4. Прогноз вещественного состава земной коры по профилю 1-СВ

Решение задач построения прогнозно-поисковых моделей и проведения минерагенического прогноза по результатам исследований на опорных региональных профилях отличается рядом особенностей.

Во-первых, данные отдельных методов не имеют достаточной пространственной обзорности: данные сейсморазведки и МТЗ получены по профилю. По окрестности имеются только съемки потенциальных полей. Поэтому прогнозно-поисковая модель может быть построена для ближайшей окрестности профиля, да и то, при условии однородности геологической обстановки, определяемой по характеристикам потенциальных полей.

Во-вторых, масштаб выполняемых исследований ориентирован на изучение земной коры в целом (до глубин раздела МОХО), и потому недостаточен для относительно детального расчленения осадочного чехла.

В связи с этим, в строгой постановке задачи построения прогнозно-поисковых моделей и, соответственно, минерагенического прогноза практически не разрешимы.

Однако, по анализу результатов исследований возможна локализация в пространстве областей, благоприятных для образования и скопления полезных ископаемых. Основой такой трансформации рассматриваемых задач являются представления о глубинных процессах, обуславливающих генезис месторождений полезных ископаемых. Среди них ведущая роль принадлежит тектоно-магматическим процессам и процессам миграции флюидов сквозь толщу коры к объектам в верхах фундамента и осадочного чехла, расположенных на глубинах, доступных хозяйственной деятельности в ближайшие годы и десятилетия.

В свете сказанного, принятой методикой построения прогнозно-поисковых моделей и минерагенического прогноза предусматривалось:

- локализация на разрезах геофизических характеристик и на сейсмическом разрезе зон тектоно-магматической активизации, а также зон нарушения сплошности (стыков блоков, зон разуплотнения);
- сопоставление их с распределением плотности и намагниченности в окрестности профиля и на разных уровнях по глубине;
- сравнение полученных результатов с положением известных минерагенических зон и отдельных месторождений полезных ископаемых и формирование сопутствующего им комплекса геофизических признаков;
- прогноз в окрестности профиля зон, благоприятных для образования месторождений полезных ископаемых, контуры которых в плане определяются по картам распределения плотностных свойств и намагниченности для разных уровней глубин по принципу подобия геофизических признаков от известных объектов, – локализация в разрезе осадочного чехла положения осадочных комплексов и отдельных объектов, характеризующихся по структурно-тектонической и литофациальной обстановке как потенциальные ловушки УВ.

В соответствии с методикой прогноза объектов, перспективных на постановку поисковых геолого-разведочных работ, их пространственное положение в зоне влияния опорного профиля определяется на основе выявления их отображения в потенциальных полях, преимущественно в значениях эффективной плотности, вычисленных для разных уровней глубины. В результате такого подхода по всем описанным выше прогнозно-поисковым моделям получены зоны их распространения по площади.

Большинство объектов имеют углеводородную специализацию. Характерными чертами их строения являются разуплотнение земной коры, распространяющееся на значительную ее толщину, наличие нарушенных зон глубокого заложения и проникающих в осадочный чехол, а также наличие потенциальных ловушек УВ в

отложениях последнего.

Для оконтуривания объектов на площади выбрана карта значений эффективной плотности, рассчитанная для глубин 25 км (рис. 4). На этом уровне располагаются преимущественно значимые аномалии эффективной плотности. Анализ представленной поверхности свидетельствует о достаточно надежном выделении контуров объектов в окрестности профилей 1-СБ и 3-СБ, где они наиболее контрастны и характеризуются наибольшими размерами. К ним относятся объект № 4, расширяющий область распространения нефтеперспективного района Юрубчено-Тахомской зоны с известными месторождениями Юрубченским и Куюмбинским, и объект № 5 – Туринский нефтеперспективный район. Скромнее выглядит объект № 1, расположенный в Касском блоке. Контур объекта незамкнут, т.к. на профиле он представлен лишь своей северной периферией, а по характеру поля он может быть неоднородным. Пунктирные линии на схеме указывают области возможного расширения контура с учетом наличия ловушек УВ в осадочном чехле.

Подводя итог изложенному, нужно отметить, что описанные выше работы позволили по новому подойти к вопросам комплексной интерпретации геофизических данных с позиций информативности каждого метода.

Разработанная авторами методика комплексной интерпретации предполагает на первом этапе независимую обработку методных данных (сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки и электроразведки) и включает преобразование данных несейсмических методов к относительной характеристике, подобной коэффициентам отражения – дифференциально-нормированному параметру (ДН-параметру), что позволяет проводить геометризацию и сопоставление методных моделей и обеспечивает создание блоково-слоистой модели земной коры.

Предложенные способы оценки физических свойств среды в пределах отдельных объектов модели обеспечивают получение их распределения по разрезу опорного профиля, проведение прогноза вещественного состава среды и формирование глубинных комплексных физико-геологических моделей земной коры.

Построение прогнозно-поисковых моделей позволяет в окрестности опорных профилей проводить выделение зон, благоприятных для образования месторождений полезных ископаемых, контуры которых в плане определяются по картам распределения плотностных свойств и намагниченности для разных уровней глубин.

Литература

1. Бердичевский М.Н. и др. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М.: «Диалог-МГУ», 1997. с. 91-95.
2. Гильберштейн П.Г., Каплан С.А., Козлов А.С. «Развитие методики интерпретации в глубинной сейсморазведке МОГТ» – В монографии «Глубинное строение и геодинамика Южного Урала», Тверь, 2001 г., с. 92-101.
3. Никитин А.А., Каплан С.А., Галуев В.И., Малинина С.С. Определение физико-геометрических свойств земной коры по данным геофизического комплекса. Геоинформатика, 2003 г., № 2.
4. Черемисина Е.Н., Галуев В.И., Каплан С.А., Малинина С.С. Методика выделения опорных глубинных границ изменения физических свойств пород для решения задач интегрирования геоинформации при региональных геофизических исследованиях. Геоинформатика, 2004 г., № 1.