

На правах рукописи

АУЗИН АНДРЕЙ АЛЬБЕРТОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 25.00.10 – геофизика,
геофизические методы поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2012 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Воронежский государственный университет" (ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный университет")

Научный консультант: доктор физико-математических наук,
профессор Глазнев Виктор Николаевич,
Воронежский государственный университет

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Афанасьев Виталий Сергеевич
(МГРИ-РГГРУ, г. Москва),
доктор геолого-минералогических наук Сапожников Вадим
Михайлович (УГГУ, г. Екатеринбург),
доктор технических наук Билибин Святослав Игоревич (ОАО
ЦГЭ, г. Москва)

Ведущая организация: Департамент по недропользованию
по Центральному федеральному округу (г. Москва)

Защита диссертации состоится 20 декабря 2012 года в 15.00 на заседании диссертационного совета Д 212.121.07 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, МГРИ-РГГРУ, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
докт. физ.-мат. наук, профессор

А. Д. Каринский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Сокращение площадей относительно легкодоступных для обнаружения и опоискования в их пределах месторождений рудных полезных ископаемых обусловило необходимость ориентации геологоразведочных работ на выявление достаточно глубоководных рудных объектов, в том числе и в пределах закрытых территорий, где потенциально рудоносные породы кристаллического фундамента погребены под образованиями осадочного чехла. При значительной мощности осадочных пород и характерной для них вертикальной и латеральной вещественной и физической неоднородности резко снижается эффективность изучения нижележащих продуктивных образований наземными геофизическими методами. В подобных условиях ведущая роль в выявлении и информационном обеспечении геометризации рудных объектов принадлежит геофизическим исследованиям в скважинах.

Для рудных месторождений характерна сложная структурно-геологическая обстановка – пространственная неоднородность оруденения, обилие разрывных нарушений и интенсивная складчатость при крутых и невыдержанных углах падения рудных тел и вмещающих пород. Эти обстоятельства, а также, уже упоминавшаяся, невысокая геологическая эффективность наземных геофизических исследований, существенно ограничивают применимость традиционных подходов к информационному обеспечению трехмерного моделирования геологических объектов, в рамках которых формирование объёмной модели, по существу, базируется на результатах межскважинной корреляции продуктивных подсечений, осуществляемой в автоматическом режиме. В сложных геологических ситуациях, не только резко возрастает роль интерактивной составляющей процесса моделирования, но и, для обеспечения надежности структурно-геологических построений, возникает необходимость привлечения дополнительной информации, характеризующей в частности элементы залегания рудных подсечений и их взаимосвязи, а также геологическое строение околоскважинного пространства. Относительная локальность и разобщенность отдельных рудных тел, составляющих в целом месторождения и рудопроявления, требует привлечения методов скважинной геофизики для опоискования меж- и околоскважинного пространства на предмет наличия или отсутствия оруденения, а также определения его геометрических характеристик.

К настоящему времени многие научные и прикладные проблемы технологий получения и интегрированной обработки геофизической информации, направленные на построение моделей рудных объектов, еще не нашли должного решения. Практическая важность обеспечения качественной информационной основы построения объёмных моделей рудных тел, при существенной методической необеспеченности этого сегмента моделирования, придают самостоятельную и значимую роль созданию технологий получения и интегрированной обработки геолого-геофизической информации, ориентированной на цели трехмерного моделирования рудных объектов. Актуальность решения такого рода задач обусловлена тем, что внедрение компьютерных моделей геологических объектов в геологоразведочный процесс радикально изменяет информационную основу для принятия стратегических решений, определяющих не только разведку, но и разработку месторождений полезных ископаемых.

В качестве основного объекта исследований, автором была выбрана Воронежская антеклиза, которая является типичной закрытой территорией, поскольку, лежащая на ее основании, Воронежский кристаллический массив (ВКМ) перекрыт разнообразными осадочными отложениями, мощностью до первых сотен метров.

Воронежская антеклиза представляет собой расположенную в южной части Восточно-Европейской платформы обширную положительную структуру площадью около 540 тыс. км², полностью занимающую территории Воронежской, Белгородской, Курской, Орловской, Липецкой и Тамбовской областей и своими краевыми частями захватывающую Брянскую, Волгоградскую, Тульскую, Калужскую и Луганскую области. В её пределах находится ряд эффективно действующих горнодобывающих предприятий, среди которых ведущее место занимают предприятия по добыче и переработке железорудного сырья. Открыты достаточно крупные месторождения бокситов, фосфоритов, апатит-магнетитовых, титан-циркониевых и медно-никелевых руд. Имеются серьезные предпосылки прогнозировать наличие и других видов полезных ископаемых, в числе которых – золото, элементы платиновой группы и алмазы.

В разработке аппаратурно-методических и теоретических основ рудного направления геофизических исследований в скважинах (ГИС) решающее значение имели работы отечественных геофизиков. В развитие рудного каротажа большой вклад внесли: Ю.П. Булашевич, А.А. Вешев, О.К. Владимиров, Г.С. Возжеников, Г.М. Воскобойников, Д.С. Даев, В.П. Кальварская, Ю.И. Кудрявцев, Е.П. Леман, В.А. Мейер, В.С. Нахабцев, А.П. Очкур, М.И. Плюснин, О.Ф. Путиков, И.Г. Сквородников, И.М. Хайкович и многие другие. Приоритетные разработки в сфере методов скважинной геофизики были выполнены А.Н. Авдониным, Ю.Г. Астраханцевым, В.И. Векслером, А.К. Козыриным, Л.В. Лебедкиным, Н.М. Нейштадтом, А.Д. Петровским, В.Н. Пономаревым, А.А. Поповым, А.А. Редозубовым, Б.В. Рогачевым, П.Ф. Родионовым, Ю.С. Рыссом, Г.П. Саковцевым, В.М. Сапожниковым, А.К. Сараевым, М.В. Семеновым, Б.Б. Шатровым и многими другими. Вопросам моделирования рудных объектов посвятили свои работы М.М. Авдевич, В.И. Аронов, В.А. Безукладов, Н.И. Боровко, П.В. Васильев, Г.С. Вахромеев, В.Н. Глазнев, А.Ю. Давыденко, С.С. Долгушин, В.А. Дунаев, Р.Г. Жилинский, М.А. Нефедьев, А.А. Никитин, С.В. Ремизов, М.В. Семенов и другие.

Автором разработаны новые научно-методические подходы, способные обеспечить трехмерную геометризацию сложнопостроенных геологических объектов с высокой степенью достоверности.

Целью работы является разработка технологических, методологических, аппаратурно-методических, интерпретационных и программных решений, направленных на обеспечение возможности формирования трехмерных моделей рудных объектов на основе результатов интерпретации материалов геолого-геофизических исследований скважин и данных скважинной геофизики.

Задачи исследований

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

– обобщение и критический анализ результативности геофизических исследований в рудных скважинах, выполненных в пределах различных регионов бывшего СССР (Воронежская антеклиза, Северный Казахстан, Урал, Кольский п-ов и др.);

– разработка технологии исследования осадочного чехла методами ГИС, учитывающей геолого-геофизические особенности закрытых территорий и направленной на выявление в пределах верхней части разреза рудных и рудоконтролирующих объектов;

– разработка аппаратурно-методических и интерпретационных решений, применение которых обеспечивает большую достоверность структурно-геологическим построениям в пределах железорудных магнетитовых месторождений;

– разработка методических основ комплексных геолого-геофизических работ при поисках и разведке месторождений медно-никелевых руд, а также подходов к обработке и интерпретации получаемых материалов, способных обеспечить бóльшую эффективность геологоразведочных работ на объектах такого рода;

– разработка технологий, повышающих качество информационной основы формирования трехмерных моделей рудных объектов и позволяющих наиболее полно и адекватно реализовать материалы геолого-геофизических исследований скважин;

– программная реализация разработанных технологий, обеспечивающая создание трехмерных моделей рудных объектов.

Методы исследований

В процессе работы анализировались и обобщались материалы геофизических исследований в скважинах выполненных в различных геологических обстановках. На основе анализа различных технологий проведения ГИС, их аппаратурных и методических реализаций, были выработаны оптимальные подходы к геометризации различных рудных объектов. С целью подтверждения обоснованности разработанных автором аппаратурно-технологических решений по повышению эффективности геолого-геофизических исследований проводились математическое и физическое моделирование, полевые скважинные исследования, обработка, интерпретация и переинтерпретация полевых материалов, а также апробация разработанных технологий на различных рудных объектах.

Фактический материал и личный вклад автора

При написании работы были использованы материалы, полученные автором начиная с 1977 г. в результате исследований, выполненных им лично или при его непосредственном участии во время работы в НИСе МГРИ, в Институте геологии Воронежского государственного университета и на кафедре геофизики ВГУ.

Автором лично или при его непосредственном участии выполнены геофизические исследования в значительном количестве поисково-съёмочных, разведочных, заверочных и гидрогеологических скважин; проанализированы и переинтерпретированы материалы геофизических исследований в сотнях скважин, пробуренных в различных регионах бывшего СССР; разработаны технологии, позволяющие повысить качество информационной основы формирования трехмерных моделей рудных объектов и обеспечивающие объемное моделирование геологических объектов сложного строения; выполнена программная реализация разработанных технологий.

Защищаемые положения

1. Технология увязки рудных подсечений в трехмерном пространстве и формирования компьютерных трехмерных структурно-геологических моделей геологических объектов, реализованная в системе трехмерного компьютерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР, позволяющая достигнуть наиболее полной и адекватной содержанию реализации геолого-геофизической информации и, при привлечении результатов опосредованного опосредования околоскважинного пространства методами скважинной геофизики, обеспечивающая повышение достоверности геометризации рудных объектов сложного геологического строения.

2. Технология изучения осадочного чехла закрытых территорий, предполагающая дополнение стандартного комплекса методов геофизических исследований в скважинах каротажем магнитной восприимчивости и скважинной магниторазведкой, обеспечивающая эффективную корреляцию вскрытых скважинами разрезов, а также выявление геологических объектов, являющихся источниками наземных аномалий геофизических полей или носящих рудоконтролирующий характер.

3. Технология геофизических исследований скважин, позволяющая повысить достоверность структурно-геологических построений в пределах железорудных магнетитовых месторождений, которая предполагает проведение скважинной пластовой индукционной наклонометрии в едином измерительном цикле с каротажем магнитной восприимчивости и соответствующие анализ и статистическую обработку получаемых данных.

Научная новизна

1. Показано, что повышение достоверности геометризации рудных объектов сложного геологического строения достигается применением технологии трехмерной пространственной корреляции данных геолого-геофизических исследований и трехмерного моделирования в соответствии с разработанной автором технологией.

2. Впервые в пределах осадочного чехла Воронежской антеклизы выявлены геологические объекты, имеющие весьма высокую намагниченность и способные создавать интенсивные наземные аномалии магнитного поля. Это обстоятельство необходимо учитывать при построении методики их изучения методами ГИС, а также при интерпретации материалов как наземной, так и скважинной магниторазведки.

3. Показано, что определение условий осадконакопления и выявление эпигенетических преобразований осадочных пород, которые могут быть связаны с процессами рудогенеза, возможно путем детальной межскважинной корреляции разрезов, выполняемой по данным геофизических исследований в скважинах в соответствии с разработанной методикой.

4. Выявлено, что мелкая складчатость, характерная для магнетитовых месторождений, в том числе – месторождений железистых кварцитов, не позволяет по единичным определениям элементов залегания оценить их структурно-геологические особенности, в связи с чем, для получения достоверных данных необходимо выполнять поинтервальное осреднение представительного количества отдельных определений элементов залегания в пределах эмпирически задаваемых интервалов глубин. Достаточный для этого объем информации может быть получен с помощью скважинной пластовой индукционной наклонометрии.

5. Впервые, применительно к геолого-геофизическим условиям Воронежской антеклизы, предложен технологический комплекс скважинных и скважино-наземных геофизических методов поисков и разведки месторождений никеля, а также методы и программные средства обработки и интерпретации результатов, позволяющие значительно повысить эффективность этих исследований.

6. Впервые по материалам исследований методом мелкомасштабного заряда были выявлены линейные зоны повышенной проводимости, имеющие восток-северо-восточное простирание, к которым оказываются приуроченными ряд известных месторождений и рудопроявлений никеля ВКМ.

Достоверность полученных результатов подтверждается материалами моделирования и их сопоставлением с аналогичными данными, полученными независимым путем с помощью иных методов исследований, а также результатами полевых геолого-геофизических исследований на различных геологических объектах.

Практическая значимость

1. Разработанная новая технология компьютерного трехмерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР, предназначенная для компьютерного анализа пространственного распределения данных геолого-геофизических исследований скважин и создания объёмных моделей геологических сред, позволяет повысить достоверность геометризации рудных объектов сложного геологического строе-

ния. Технология использовалась при структурно-геологических построениях на объектах Воронежской антеклизы и Кольского полуострова.

2. Выявлены особенности геологического строения осадочной части разреза Воронежской антеклизы, в частности, – локализация в ней геологических объектов, имеющих довольно высокую намагниченность и способных создавать весьма интенсивные наземные аномалии магнитного поля. Учет этих особенностей, позволяет оптимизировать технологию поисков различных полезных ископаемых, в том числе – коренных месторождений алмазов. Разработанная технология, внедренная в Институте геологии ВГУ, используется в рамках выполнения Государственной программы по геологическому доизучению площадей (ГДП-200).

3. Применение более совершенных схем и алгоритмов реализации данных инклинометрии, разработанных под руководством автора, позволяет повысить надежность структурно-геологических построений на месторождениях, поисково-разведочные работы на которых осуществлялись с помощью скважин наклонно-направленного бурения. Разработаны методика построения траекторий скважин, позволяющая повысить точность реализации данных инклинометрии, и программный модуль Zenith 1.2, в котором использована данная методика. Кроме того, данный программный модуль может привлекаться для проектирования скважин наклонно-направленного бурения и управления их проводкой.

4. В пределах Воронежской антеклизы выявлены и уточнены важные особенности геологического строения ряда месторождений и рудопроявлений никеля, позволяющие скорректировать их промышленную перспективность и конкретизировать направления дальнейших поисково-разведочных работ.

5. Разработаны предложения по совершенствованию технологий проведения геофизических исследований в рудных скважинах, обработке и интерпретации их материалов, направленные на решение задач, типичных для закрытых территорий. Практическая реализация предложений позволяет повысить геологическую эффективность ГИС.

6. Выявление протяженных линейных зон повышенной проводимости, к которым тяготеет ряд известных месторождений и рудопроявлений никеля, может позволить локализовать поисково-разведочные работы на никель в пределах ВКМ.

7. Разработана комплексная аппаратура скважинной пластовой индукционной наклонометрии и каротажа магнитной восприимчивости, применение которой дает возможность получать информацию позволяющую повысить достоверность опробования руд и структурно-геологических построений на магнетитовых месторождениях

Апробация результатов исследований

Результаты исследований докладывались на научных и практических конференциях и совещаниях различного уровня. В их числе: Всесоюзное совещание "Разработка и комплексирование геофизических методов при детальной и эксплуатационной разведке рудных месторождений" (Октябрьский, 1982), Всесоюзная конференция "Методика, техника и результаты геофизической разведки рудных месторождений" (Ленинскан, 1986), международная геофизическая конференция "Электромагнитные исследования с контролируемыми источниками" (Санкт-Петербург, 1996), международная конференция "Геофизика-99" (Санкт-Петербург, 1999), международная геофизическая конференция "300 лет горно-геологической службе России" (Санкт-Петербург, 2000), совещание "Литология и полезные ископаемые центральной России" (Воронеж, 2000), VII Всероссийский семинар "Компьютерное обеспечение Государственной программы Госгеолкарта-200" (Ессентуки, 2000), V международная кон-

ференция "Новые идеи в науках о Земле" (Москва, 2001), международная конференция "Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы" (Воронеж, 2002), международная конференция "Теоретические и прикладные аспекты геоинформатики" (Киев, 2002), международная конференция "Месторождения природного и техногенного сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поисков, экологическая геология" (Воронеж, 2008), международный семинар им. Д.Г. Успенского "Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей" (Воронеж, 2012).

Публикации

По тематике диссертации автором опубликовано более 80-ти печатных работ, в числе которых 2 монографии, 3 авторских свидетельства на изобретения и более 40 научных статей, из которых 16 напечатаны во входящих в список ВАК изданиях.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, 4 разделов и заключения. Объем диссертации составляет 322 страниц текста, включающего 156 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 262 наименований.

Во **Введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется её основная цель и обозначаются задачи, которые следовало решить для достижения поставленной цели.

Диссертация включает в себя следующие разделы:

1. Геологическое строение Воронежской антеклизы. В разделе приводится территориальная привязка основного объекта исследований – Воронежской антеклизы, а также её структурно-тектоническая и литолого-стратиграфическая характеристики, которые типичны для закрытых территорий. Показано, что весьма сложное геологическое строение антеклизы – переменные мощности и вещественный состав слагающих осадочный чехол образований, блоковое строение кристаллического фундамента и его насыщенность разновозрастными интрузиями, существенно затрудняет изучение её рудоносности наземными геофизическими методами без привлечения данных скважинных исследований.

В соответствии со сформировавшимися на настоящее время представлениями, в пределах слагающего основание Воронежской антеклизы Воронежского кристаллического массива (ВКМ), выделяются мегаблок Курской магнитной аномалии (КМА), Хопёрский мегаблок и Лосевская шовная зона. Мегаблоки, в свою очередь, делятся на Рославльский, Брянский, Ливенско-Ефремовский, Курско-Белгородский, Варваринский, Калач-Эртильский и Камышинский макроблоки (рис. 1).

2. Физические свойства пород и руд. Раздел содержит аналитическое описание физических свойств пород и руд. Приводятся общие зависимости физических свойств минеральных агрегатов, типичных для рудных районов, от их вещественного состава, текстурно-структурных особенностей, физического состояния и воздействия внешних факторов. Показано, что структурно-вещественные неоднородности, с которыми могут быть связаны рудоконтролирующие объекты или непосредственно оруденение, наиболее явным образом будут проявляться в электромагнитных и ядерно-геофизических полях искусственного или естественного происхождения.

3. Геофизические исследования в скважинах: классификация методов; основы теории, методики проведения исследований, обработки и интерпретации получаемых материалов. В разделе приведена разработанная автором классификация методов геофизических исследований в скважинах. Содержится краткое описание основ теории, методики проведения исследований, обработки и интерпретации мате-

риалов, получаемых при проведении исследований методами каротажа и скважинной геофизики. При этом, основное внимание обращено на методы и методики, применение которых в условиях закрытых территорий, уже доказало свою эффективность или их введение в реализуемый комплекс ГИС сулит позитивный результат.

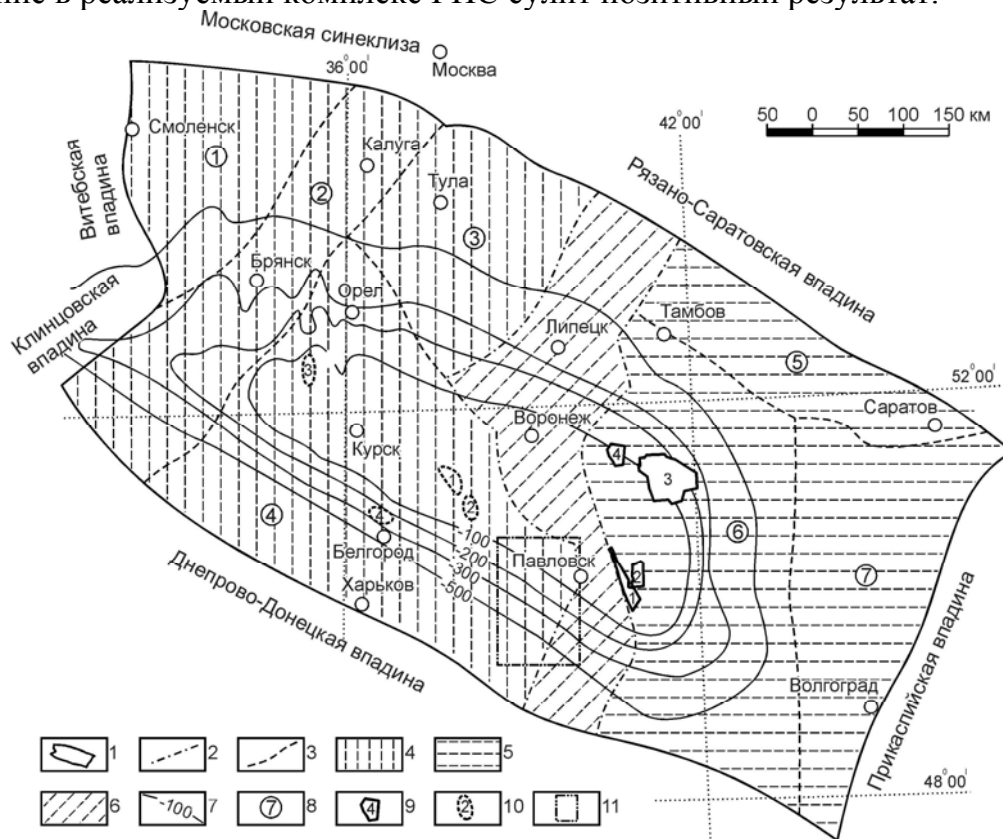


Рис. 1. Схема структурно-тектонического районирования Воронежского кристаллического массива, гипсометрия поверхности кристаллического фундамента и положение в пределах ВКМ основных рудных районов (по Н.М. Чернышову и др., 1989, с дополнениями М.В. Рыборака и А.Ю. Альбекова, 2010).

1 – границы ВКМ; 2 – границы мегаблоков; 3 – границы макроблоков; 4 – мегаблок КМА; 5 – Хоперский мегаблок; 6 – Лосевская шовная зона; 7 – изогипсы поверхности кристаллического фундамента; 8 – макроблоки (1 – Рославльский, 2 – Брянский, 3 – Ливенско-Ефремовский, 4 – Курско-Белгородский; 5 – Варваринский, 6 – Калач-Эртильский, 7 – Камышинский); 9 – рудные районы в пределах Хоперской металлогенической провинции: 1 – Мамонский (Нижнемамонское и Подколодновское медно-никелевые месторождения, Петровское, Артюховское, Юбилейное и Мартовское рудопроявления), 2 – Ширяевский (пирротиновые руды), 3 – Еланско-Уваровский (Еланское и Ёлкинское месторождения никеля, Центральное, Абрамовское, Листопадовское, Новопокровское и Троицкое рудопроявления), 4 – Аннинский (Садовское рудопроявление никеля, меди, кобальта и хрома); 10 – железорудные районы в пределах Курской (КМА) металлогенической провинции: 1 – Старооскольский (Коробковское, Лебединское, Стойленское и Приоскольское месторождения), 2 – Новооскольский (Чернянское и Погромецкое месторождения), 3 – Курско-Орловский (Михайловское и Новоялтинское месторождения) 4 – Белгородский (Яковлевское, Висловское и Гостищевское месторождения); 11 – площадь, в пределах которой была выполнена детальная корреляции осадочных отложений

4. Формирование трехмерных моделей рудных объектов

Повышение достоверности геометризации рудных объектов может быть достигнуто путем разработки более эффективных технологий получения и интегрированной обработки геолого-геофизической информации обеспечивающих формирование их трехмерных моделей. Подобные технологии предполагают, в том числе:

– применение адаптированных к конкретным геологическим ситуациям методик межскважинной корреляции рудных подсечений;

– более точную пространственную привязку результатов исследований за счет, в частности, использования усовершенствованных алгоритмов реализации данных инклинометрии и учета неравномерного перемещения скважинных приборов в процессе проведения геофизических исследований;

– оптимизацию технологий опосредованного опосредования околоскважинного пространства методами скважинной геофизики;

– привлечение информации, характеризующей элементы залегания рудных подсечений в скважинах.

Предлагаются конкретные технологические решения, позволяющие повысить геологическую эффективность геофизических исследований в рудных скважинах, прежде всего в пределах закрытых территорий.

В **Заключении** приводятся наиболее важные результаты выполненной автором работы.

Диссертационная работа выполнена на кафедре геофизики Воронежского государственного университета. Автор глубоко признателен коллегам, которые оказали помощь в выполнении представленной к защите работы. Среди тех, кому хотелось бы выразить персональную благодарность: проф. Глазнев В.Н., проф. Антонов Ю.В., проф. Ненахов В.М., проф. Савко А.Д. и Глазнев В.В. Автор считает своим долгом почтить память профессора М.И. Плюснина, под руководством которого он начинал свою научную деятельность во время обучения в аспирантуре МГРИ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ (по защищаемым положениям)

1. Технология увязки рудных подсечений в трехмерном пространстве и формирования компьютерных трехмерных структурно-геологических моделей геологических объектов, реализованная в системе трехмерного компьютерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР, позволяющая достигнуть наиболее полной и адекватной содержанию реализации геолого-геофизической информации и, при привлечении результатов опосредования околоскважинного пространства методами скважинной геофизики, обеспечивающая повышение достоверности геометризации рудных объектов сложного геологического строения [1, 2, 4-10, 12, 16, 17, 22, 24, 26, 27, 33-39, 41].

Формирование многомерных моделей рудных объектов способно повысить эффективность геологоразведочный процесса на всех его стадиях – от поисковой и поисково-разведочной до эксплуатационной. На начальных этапах исследований могут формироваться модели, характеризующие пространственное распределение отдельных пластопересечений, измеренных значений геофизических полей или концентраций рудных компонентов по скважинам, а на заключительных – объёмные динамические (изменяющиеся во времени по мере доразведки и разработки месторождения) модели, завершающие свое развитие с полной отработкой полезного ископаемого. Внедрение моделирования такого рода способно кардинально улучшить информационную основу для принятия решений, определяющих не только поиски и разведку месторождений полезных ископаемых, но и их последующую эксплуатацию.

Практический опыт свидетельствует, что наибольшую прикладную эффективность имеют *компьютерные математические трехмерные модели*, к основным преимуществам которых можно отнести то, что:

1. Формирование трехмерных компьютерных моделей позволяет достигнуть наиболее полной и адекватной содержанию реализации и последующего хранения геолого-геофизической информации;

2. При построении трехмерных моделей возможно увеличение точности прогноза параметров моделируемого объекта на те области пространства, где их непосредственные определения не проводились;

3. Компьютерные модели могут сохраняться в базе данных и корректироваться по мере получения дополнительной информации;

4. На основе созданной трехмерной компьютерной модели возможно оперативное формирование её различных двумерных представлений в виде карт и разрезов произвольной ориентации.

В геологической практике одними из наиболее востребованных разновидностей трехмерных моделей являются объемные структурные модели, высокая эффективность вовлечения которых в процесс исследований обусловлена тем, что они, помимо хорошей наглядности и информативности, имеют высокий прогностический потенциал. Использование компьютерных математических моделей дает возможность относительно легко осуществить процесс мониторинга, отражающего развитие во времени любого геологического процесса или явления.

К настоящему времени в среде специалистов геологического профиля сложилось понимание того, что максимальная прикладная эффективность от применения компьютерных технологий может быть достигнута на пути оптимизации взаимодействия (в определенном смысле – симбиоза) компьютерных систем с профессиональным потенциалом специалистов – геологов или геофизиков. Подобный человеко-машинный альянс не может быть продуктивным без обеспечения полноценной визуализации результатов на всех этапах исследований и обеспечения возможности непосредственной работы с изображениями. Важность именно этого сегмента процесса моделирования обусловлена тем, что наиболее эффективный, обладающий колоссальной пропускной способностью, канал получения информации человеком – зрительный и именно он должен быть задействован наиболее полно для максимального использования интеллектуальных возможностей пользователя. Нередко опытный специалист, руководствуясь минимумом объективных данных, может достигнуть конечного результата высокой степени достоверности в ситуации, когда, с математически строгой точки зрения, сколько-нибудь обоснованные выводы невозможны в принципе.

Ориентируясь на вышесказанное, была разработана система компьютерного трехмерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР, основным назначением которой является трехмерный компьютерный анализ пространственного распределения результатов геолого-геофизических исследований скважин и создание объемных структурных литолого-стратиграфических или иных моделей геологических сред.

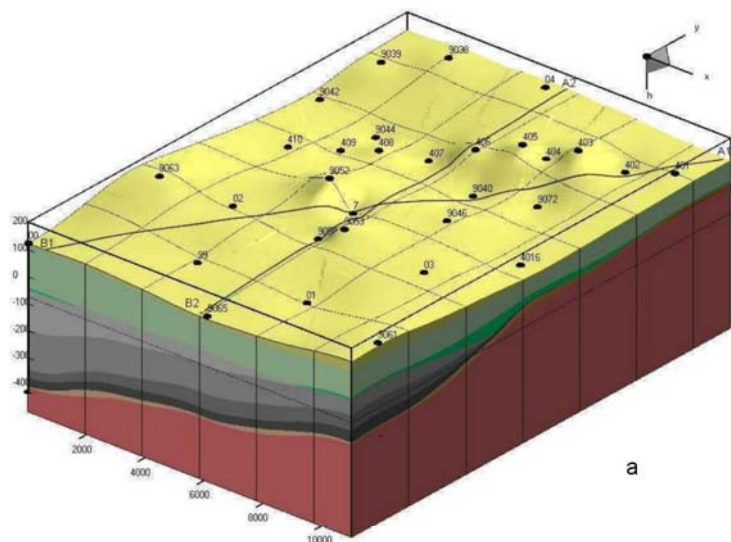
Системой КОММОДОР формируется объектноориентированная трехмерная цифровая компьютерная модель, в любой точке которой оказываются определенными задаваемые при ее построении параметры – литолого-стратиграфические и петрофизические характеристики пород, глубины залегания границ и пр. Объектное моделирование предполагает, что каждый элемент модели (рельеф дневной поверхности, пластопересечение, скважина и т.д.) представляет собой отдельный самостоятельный объект, допускающий работу с ним и его визуализацию в отрыве от модели в целом. Подобный подход позволяет легко оптимизировать информационную насыщенность

прямоугольного параллелепипеда с данными (куба данных) в соответствии с решаемыми задачами путем выборочной визуализации необходимого их количества и комбинации.

Моделирование субгоризонтальнослоистых геологических объектов

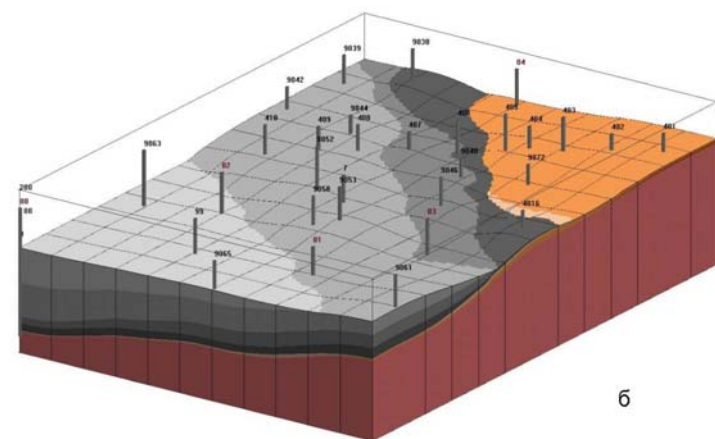
Система КОММОДОР была использована в рамках выполнения федеральной программы по геологическому доизучению площадей масштаба 1:200000 (ГДП 200) для создания объемной модели осадочной части разреза в пределах части площади

листов М-37-ХVI и М-37-ХХII (юг Воронежской обл.). На рис. 2а приведены результаты визуализации трехмерной компьютерной модели участка геологической среды, рассчитанной по результатам исследований 27 скважин, вскрывших разрез вплоть до пород докембрийского фундамента. Площадь дневной поверхности моделируемого объема – около 3500 км².



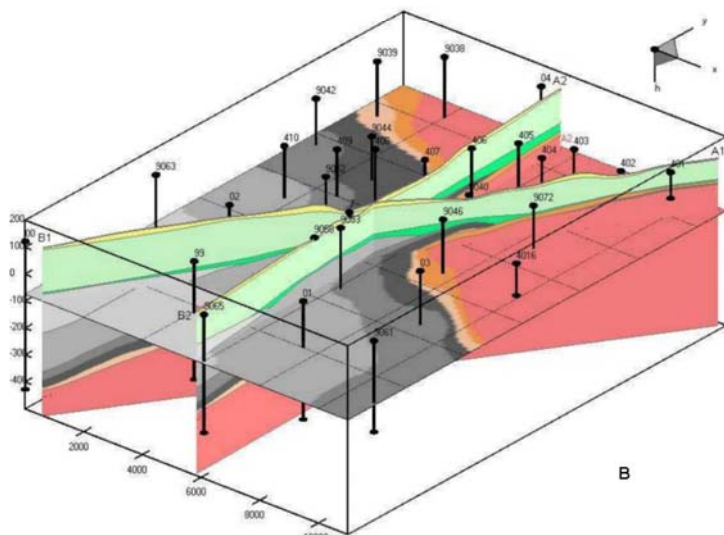
а

листов М-37-ХVI и М-37-ХХII (юг Воронежской обл.). На рис. 2б показана объемная модель отложений домезозойского возраста, проекция которой на горизонтальную плоскость будет представлять собой геологическую карту кровли пород этого возраста.



б

На рис. 2в приведены два пересекающихся вертикальных разреза и горизонтальный срез (на уровне -70 м) построенной модели, позволяющие выявить и проследить литолого-стратиграфические особенности моделируемого объекта.



в

Следует отметить что, если моделирование субгоризонтальнослоистых геологических сред относительно простого строения может основываться на результатах межскважинной корреляции отдельных пластопересечений,

Рис. 2. Трехмерная модель осадочной части разреза (а), объемная модель отложений домезозойского возраста (б) и два пересекающихся вертикальных разреза и горизонтальный срез трехмерной модели (в)

осуществляемой в близком к автоматическому режиму, то в сложных геологических ситуациях подобный подход оказывается неприемлемым.

Реализация возможности моделирования объектов сложного геологического строения нуждается в иных технологических решениях.

Моделирование рудных объектов сложного геологического строения

Корреляция разрезов в сложных геологических ситуациях требует принципиально иных подходов, в качестве одного из которых может быть использована увязка

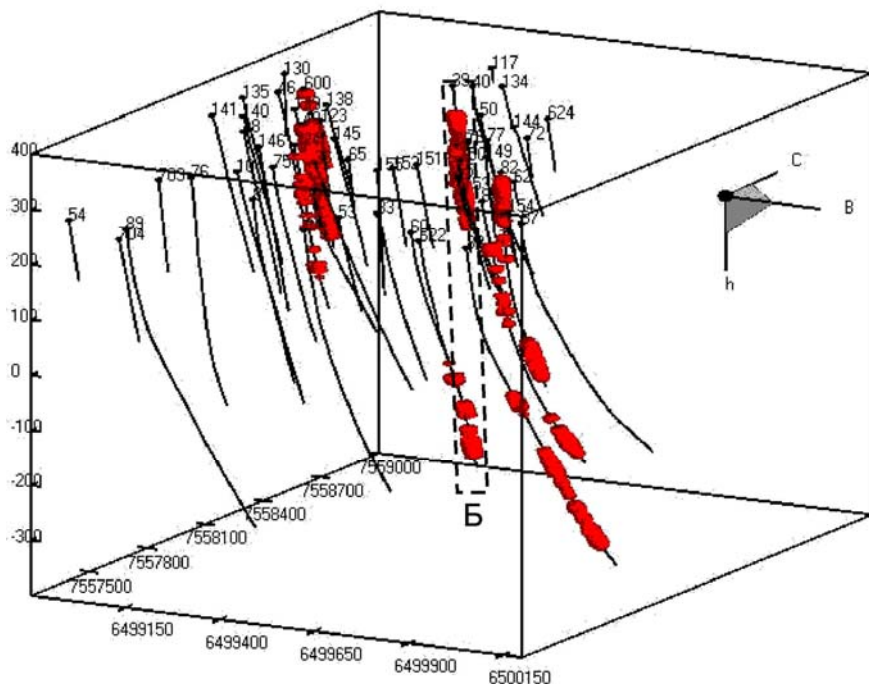


Рис. 3. Увязка рудных подсечений скв. 39, 591, 150 и 622 (вид на куб данных со стороны юго-востока)

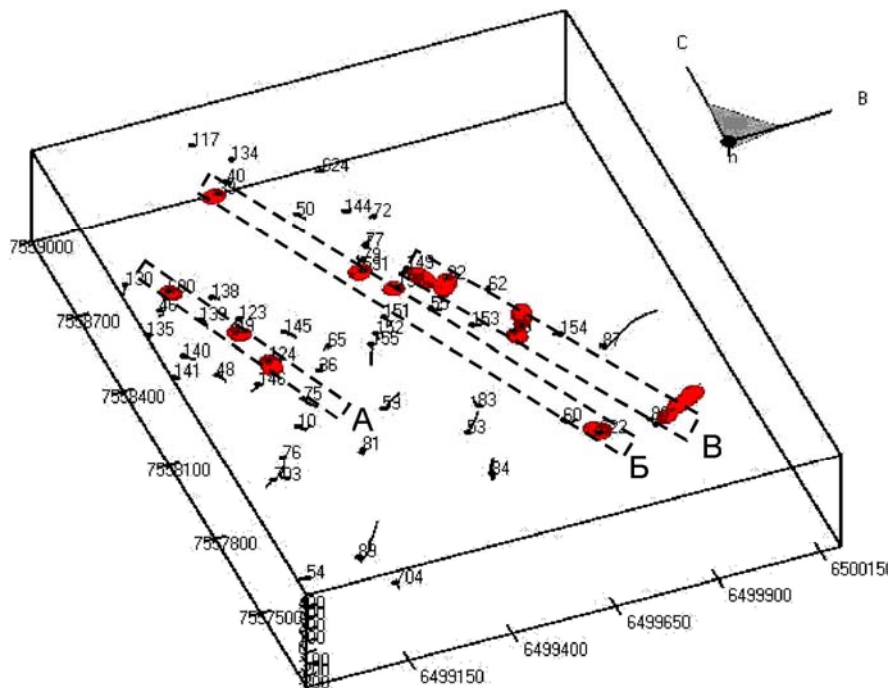


Рис. 4. Увязка рудных подсечений по всем скважинам (вид на куб данных сверху со стороны юго-юго-запада)

рудных подсечений в трехмерном пространстве. Ключевым моментом подобной корреляции является осуществляемый специалистом-геологом визуальный трехмерный компьютерный анализ данных геолого-геофизических исследований скважин, направленный на установление возможных взаимосвязей рудных подсечений. Система КОММОДОР обеспечивает просмотр куба с пространственно локализованными данными под любыми произвольными ракурсами, что значительно облегчает проведение подобной увязки.

Результаты использования системы КОММОДОР применительно к одному из железорудных месторождений Кольского полуострова показаны на рис. 3 и 4. В геологическом плане данное месторождение представляет собой систему крутопадающих пластообразных магнититовых тел, геометризация которых оказалась весьма непростой задачей.

Для пространственной локализации рудных тел был выполнен визу-

альный трехмерный компьютерный анализ результатов опробования скважин на магнетитовое железо, который позволил определить наиболее вероятные взаимосвязи между рудными подсечениями и оценить форму и параметры залегания рудных тел.

На рис. 3 показана увязка рудных подсечений в скв. 39, 591, 150 и 622 в единый пласт Б, а на рис. 4 – вид на рудные подсечения в направлении, близком к направлению падения большинства рудных пластов. Заметим, что все рудные пласты имеют достаточно крутое восток-северо-восточное падение и поэтому выбор северо-восточного направления искривления разведочных скважин на месторождении представляется неудачным. Результаты исследований позволили установить геологическую структуру данного месторождения и выполнить подсчет его запасов.

Работы аналогичного плана были выполнены с привлечением материалов исследований скважин Елkinsкого месторождения никеля (рис. 5), расположенного в юго-восточной части Воронежской антеклизы. Здесь с целью определения морфологии основной рудной залежи, был выполнен визуальный анализ пространственного распределения рудных подсечений с содержанием никеля не менее 0,3 %.

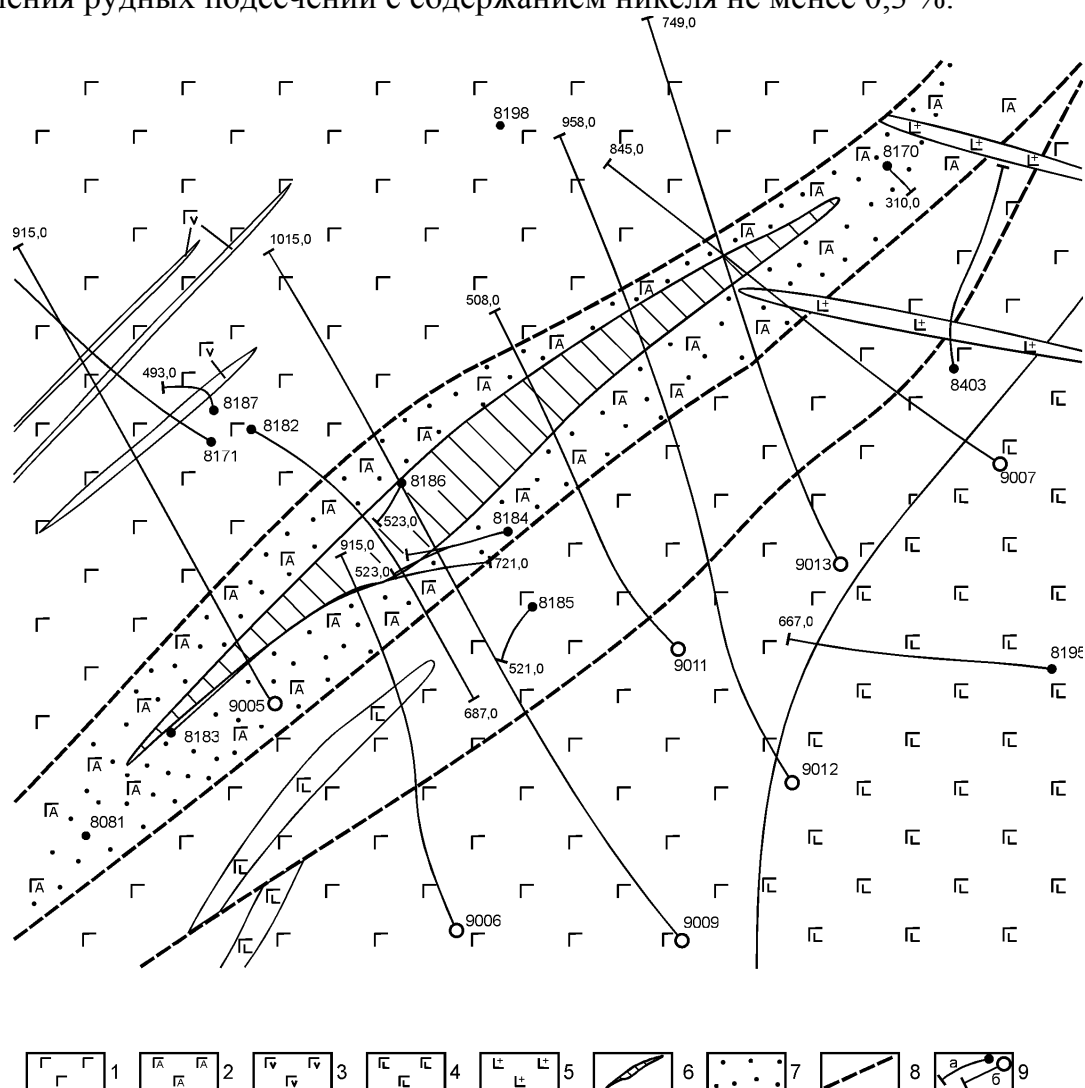


Рис. 5. Схематическая геологическая карта Елkinsкого месторождения никеля (по А.Е. Шатровскому и В.П. Михину).

1 – нориты мелкозернистые; 2 – нориты средне-крупнозернистые, амфиболитизированные; 3 – норитовые порфириды; 4 – нориты диоритизированные; 5 – диориты; 6 – рудная зона; 7 – вкрапленность сульфидов; 8 – зоны разломов; 9 – скважины (а – пробуренные до 1992 г., б – пробуренные в 1992-1994 гг.)

Просмотр куба данных под различными ракурсами (рис. 6, 7) позволил установить, что все рудные подсечения, за исключением группы маломощных пропластков, вскрытых скважиной 8184, хорошо вписываются в субвертикальную относительно маломощную пластообразную залежь, падающую под углом 86° в направлении 315° .

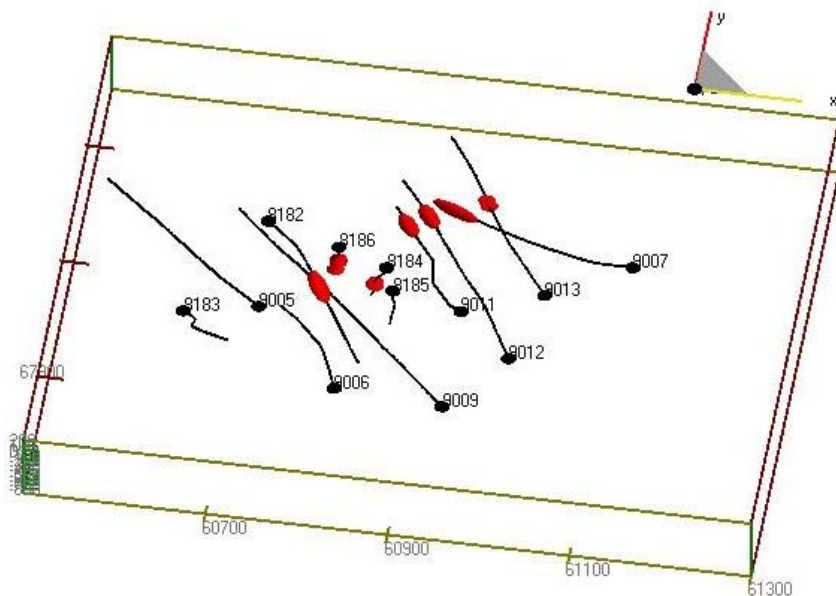


Рис. 6. Рудные подсечения Елkinского месторождения никеля. Вид сверху, со стороны юго-юго-востока

Визуальный анализ трехмерного пространства, включающего не только "рудные", но и "безрудные" скважины, свидетельствует, что рудная залежь оказалась не оконтуренной с северо-восточной стороны, причем как по простиранию, так и по падению, а со стороны юго-запада – в своей верхней части. Эта информация позволила определить направление до-разведки Елkinского месторождения.

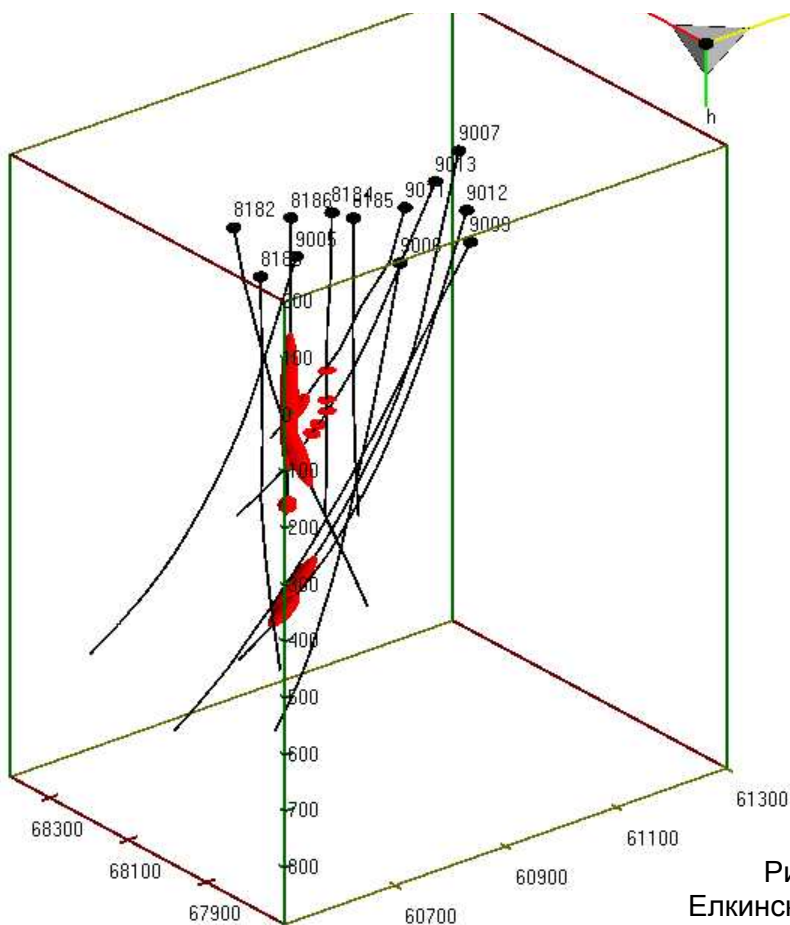
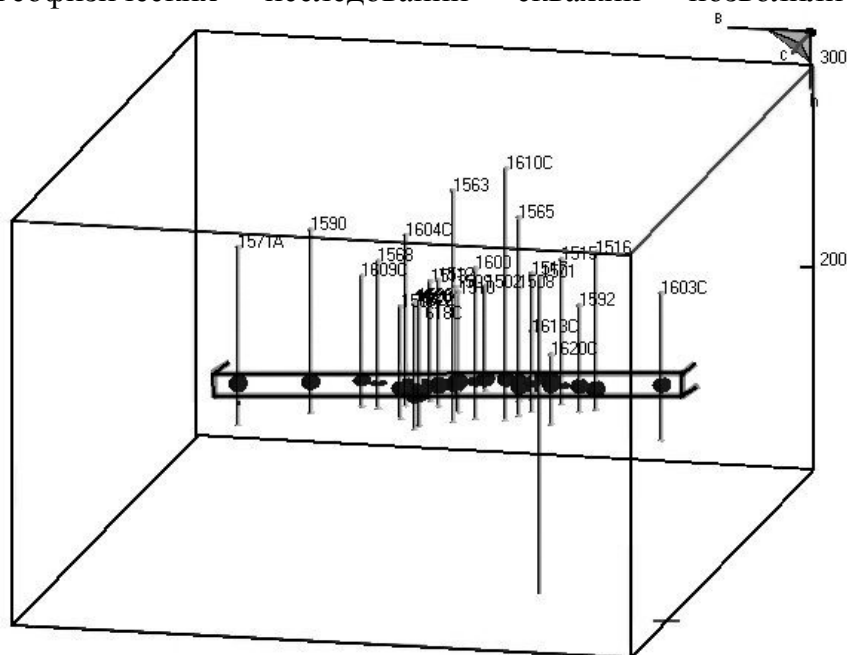


Рис. 7. Рудные подсечения Елkinского месторождения никеля. Вид со стороны юго-востока

Месторождение хромитов (Кольский п-ов), результаты исследований которого также анализировались, представляет собой несколько изогнутую в северо-восточном направлении лентообразную, погружающуюся к юго-востоку рудную залежь.

Результаты визуального трехмерного компьютерного анализа данных геолого-геофизических исследований скважин позволили установить структурно-геологические условия залегания различных участков рудного тела, в соответствии с которыми была выполнена его блокировка (всего было выделено 4 блока).



геологические условия залегания различных участков рудного тела, в соответствии с которыми была выполнена его блокировка (всего было выделено 4 блока). Оказалось, что параметры, характеризующие общее залегание продуктивных интервалов подсеченных скважинами в пределах каждого блока, имеют вполне определенные характерные особенности.

В частности, рудные подсечения в блоке Б достаточно уверенно могут быть вписаны в пласт, падающий в направлении 168° под углом 20° относительно горизонтали (рис. 8), а в пределах блока В (рис. 9), они вписываются в пласт, падающий в направлении 131° под углом 23° .

Рис. 8. Рудные подсечения блока Б на месторождении хромитов (вид со стороны северо-запада)

В частности, рудные подсечения в блоке Б достаточно уверенно могут быть вписаны в пласт, падающий в направлении 168° под углом 20° относительно горизонтали (рис. 8), а в пределах блока В (рис. 9), они вписываются в пласт, падающий в направлении 131° под углом 23° .

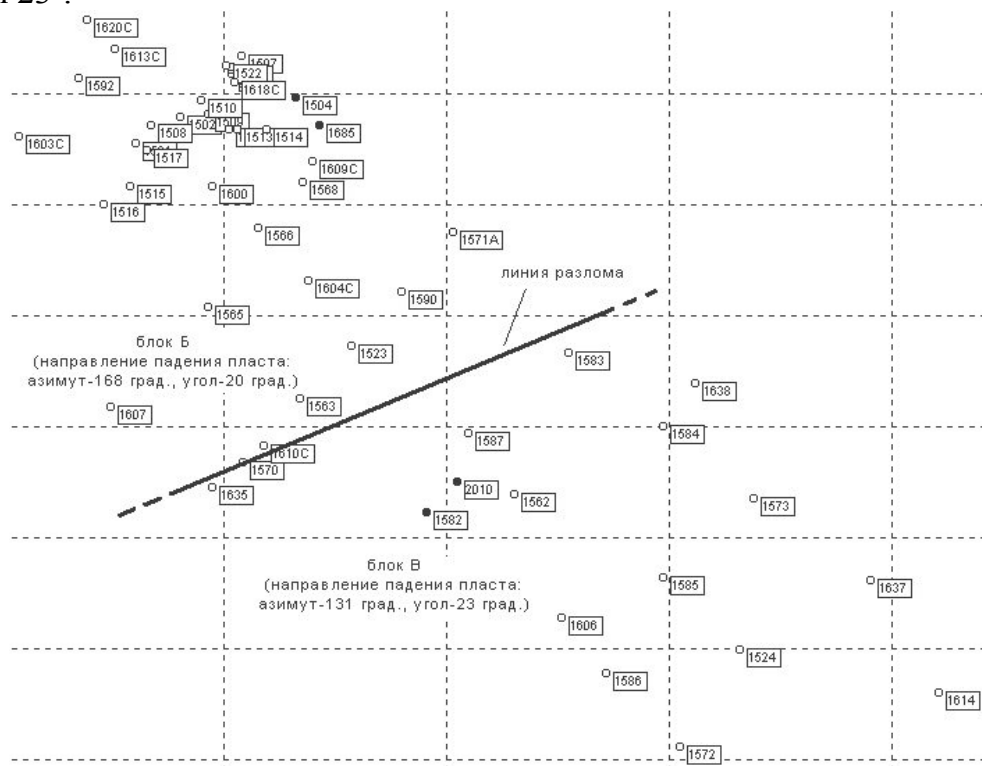


Рис. 9. Схема расположения скважин в блоках Б и В месторождения хромитов и линия разлома, разделяющего эти блоки

Для уточнения границ распространения оруденения и особенностей залегания залежи, были использованы системы вертикальных разрезов, ориентированных под самыми различными азимутами. На рис. 10 приведены результаты оконтуривания рудного тела вдоль двух взаимно параллельных и одному секущему профилям, выполненного в автоматическом режиме. Показано главное окно системы КОММОДОР с частью плана расположения скважин и обозначенными профилями.

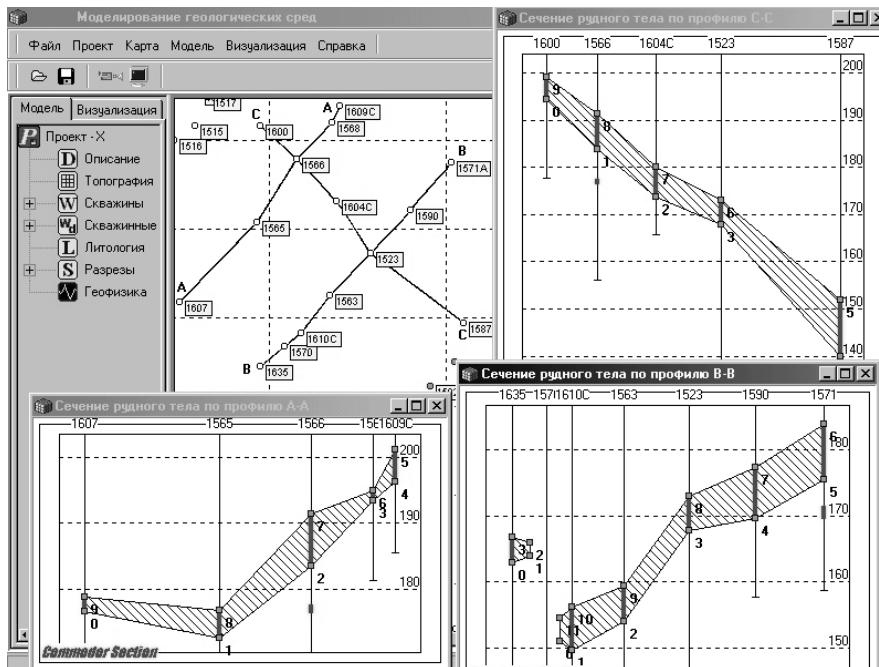


Рис. 10. Оконтуривание рудного тела по профилям, выполненное в автоматическом режиме.

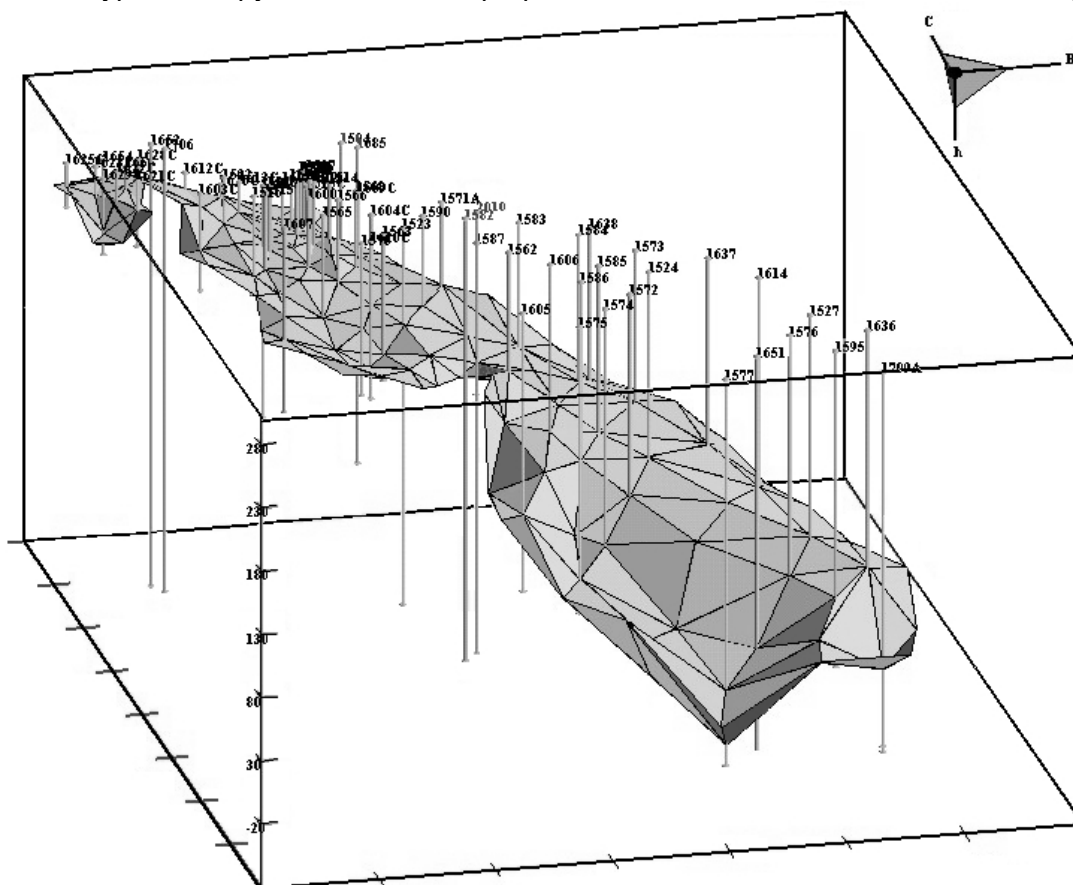


Рис. 11. Трехмерная модель месторождения хромитов

Выполненное оконтуривание хорошо отражает основные параметры залегания рудного тела. Система КОММОДОР допускает корректировку результатов оконтуривания путем перемещения вдоль скважины кровли или подошвы рудного пересечения. Итогом выполненных работ явилось создание его объемной компьютерной модели месторождения хромитов (рис. 11). Эта модель была привлечена при подсчете запасов полезного ископаемого, как по отдельным его блокам, так и на месторождении в целом. В частности, по блокам Б и В корректировка запасов относительно подсчитанных ранее составила соответственно 5,2 и 7,4 %.

Результаты работ свидетельствуют, что в трехмерном пространстве увязка рудных подсечений выполняется наиболее эффективно. При этом удастся разработать объемную модель распределения полезного ископаемого, полностью отвечающую объективным данным опробования и с высокой вероятностью соответствующую реальной геологической ситуации на изучаемом объекте.

Таким образом, *разработанная технология анализа распределения и увязки рудных подсечений в трехмерном пространстве позволяет повысить достоверность геометризации рудных объектов сложного строения.*

Очевидно, что основной объективной причиной неоднозначности любых геологических построений является информационный дефицит. Существенным образом дополнить информационную базу моделирования способны сведения о характере залегания геологических тел, получаемые в процессе интерпретации материалов геофизических исследований в скважинах, не только методов каротажа, но и, прежде всего, методов скважинной геофизики.

В частности, межскважинная корреляция (увязка) рудных подсечений должна осуществляться с обязательным привлечением данных геофизических исследований

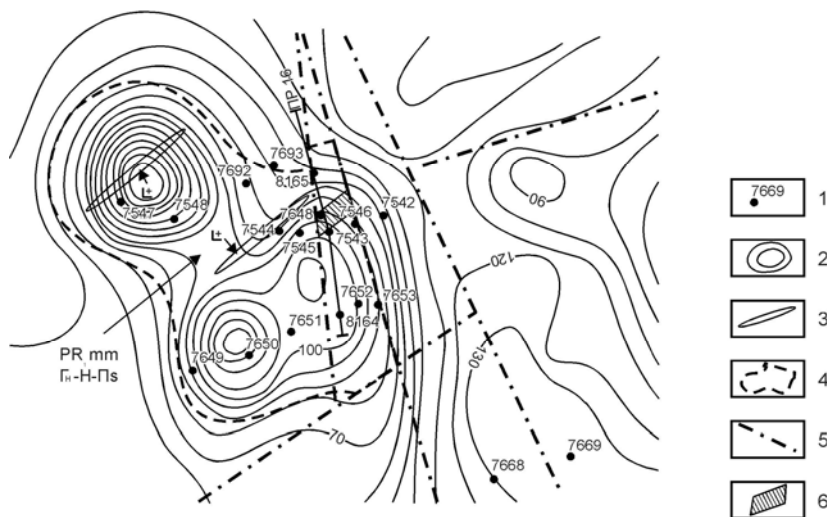


Рис. 12. Схематическая геологическая карта рудопроявления Центральное.

1 – скважины; 2 - изолинии аномального магнитного поля; 3 – интрузии; 4 – контур интрузивного массива; 5 – разрывное нарушение; 6 – рудное тело

скважин, в противном случае ее результаты чреваты серьезными ошибками, обусловленными неполным выходом керна и его избирательным истиранием. Характерным примером могут служить результаты работ в пределах Центрального рудопроявления никеля (юго-восток Воронежской антеклизы), где рудная зона была вскрыта одной лишь скважиной 7534 с чем собственно и связывается его открытие в середине 70-х годов прошлого века (рис. 12).

Данные ГИС указывают на присутствие во вскрытом скважинами разрезе рудных пересечений, не отмеченных в геологических описаниях скважин (рис. 13).

В частности, скважина 8164 на глубине 622,8 вошла в зону сульфидного оруденения, из которого не вышла вплоть до забоя, причем на глубинах 622,8 – 642,7 м ею вскрыто не менее трех интервалов, сложенных массивными рудами.

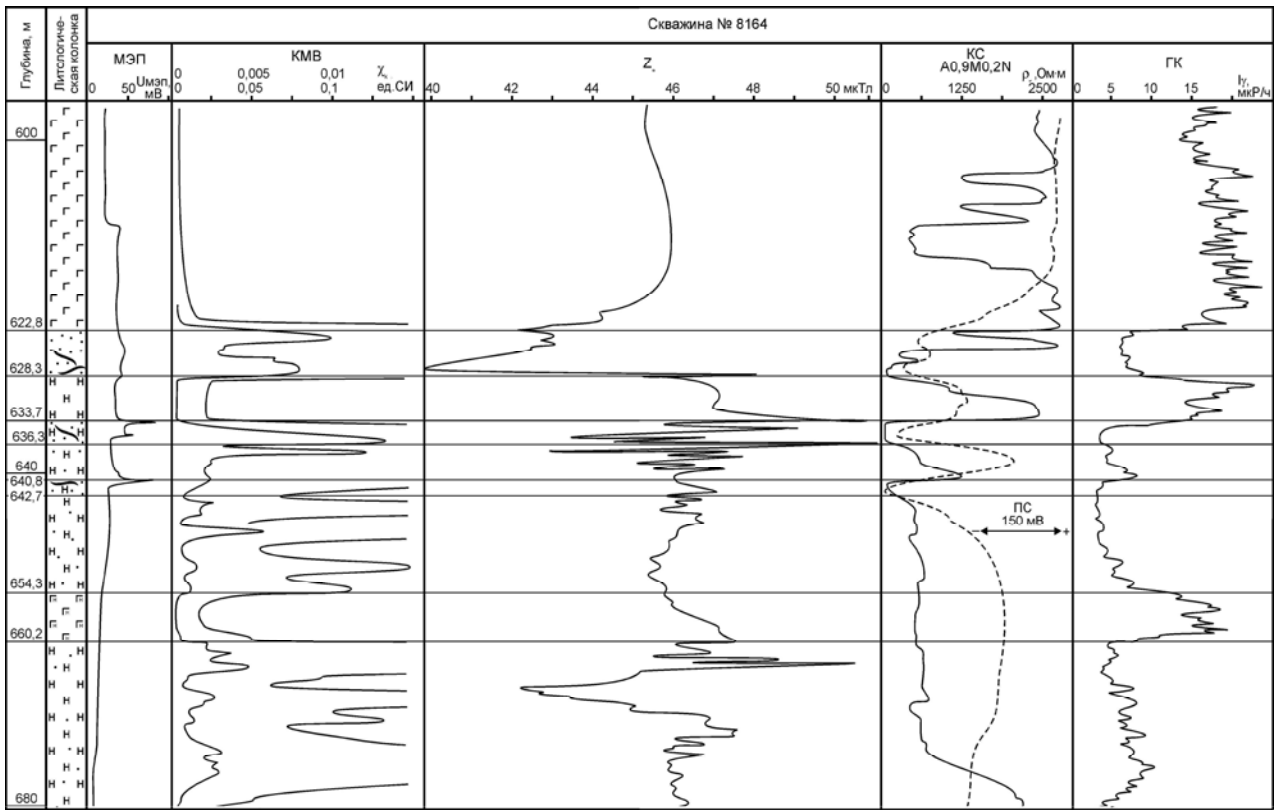


Рис. 13. Результаты геофизических исследований в скважине 8164

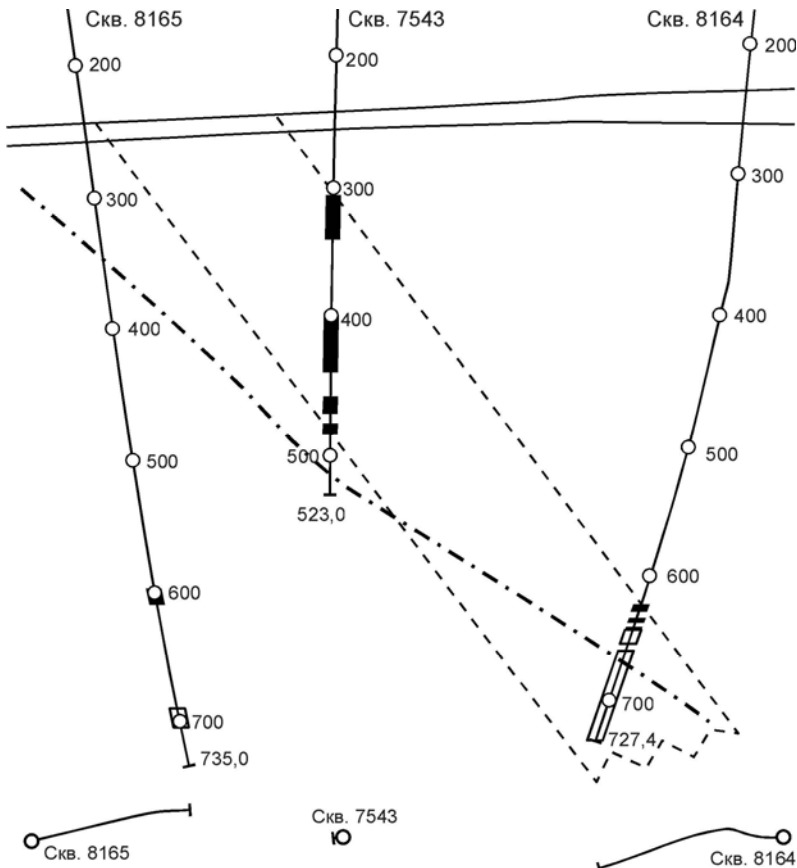


Рис. 14. Уточненный геологический разрез через скв. 8165, 7543 и 8164.

Показаны контуры оруденения, элементы тектоники и рудные пересечения

Именно здесь, по данным бурения пересечено разрывное нарушение, что косвенно свидетельствует о низком выходе керна. Четкая выраженность сульфидизированных участков разреза в материалах КМВ и СМ говорит о существенно пирротиновом характере оруденения. А именно такой состав типичен для богатых гнездово-прожилковых и массивных руд еланского типа.

Скважиной 8165 встречено два минерализованных интервала – 598,8-611,0 м и 692,0-705,0 м, которые также не отмечены в её описании.

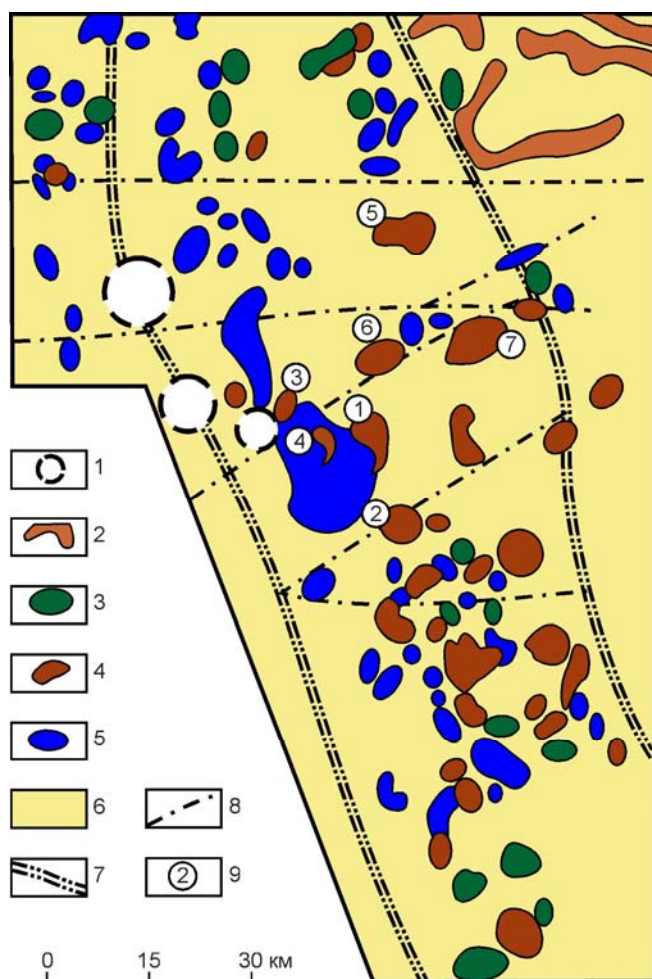
В данном случае результаты ГИС могут служить достаточным основанием для корректировки представлений о геологическом строении рудопроявления (рис. 14).

Вместе с тем, межскважинная корреляция рудных

подсечений не всегда может быть выполнена только лишь по данным каротажа, без привлечения материалов скважинной геофизики.

Опоскование околоскважинного пространства методами скважинной геофизики обычно проводится с целью оценки его рудоносности, а также определения геометрических параметров рудных тел, как подсеченных, так и не подсеченных скважинами.

Благоприятным объектом для оценки эффективности применения методов скважинной геофизики с целью геометризации около- и межскважинного пространства на глубокозалегающих рудных объектах является Воронежская антеклиз, где, на различных этапах геологоразведочных работ связанных с поисками и разведкой месторождений никеля, применялось большое количество методов скважинной геофизики. В их числе были скважинная магниторазведка (СМ); различные варианты метода заряда (МЗ); скважинные варианты методов вызванной поляризации и естественного электрического поля (ВП-С и ЕП-С); радиоволновое просвечивание (РВП); скважинное дипольное электромагнитное профилирование (ДЭМПС); контактный способ поляризационных кривых (КСПК); метод частичного извлечения металлов (ЧИМ); поляризационный метод вертикального сейсмического профилирования (ПМ ВСП).



Никеленосный район в юго-восточной части ВКМ (рис. 15) стал известен с 1965 г., когда были открыты Нижнемамонское и Подколлодновское месторождения сульфидных медно-никелевых руд. Оруденение мамонского типа, представлено упомянутыми выше месторождениями и рядом рудопроявлений. Выявленный несколько позднее, еланский тип оруденения представлен Еланским и Елкинским месторождениями, а также некоторыми рудопроявлениями (в настоящее время эти объекты рассматриваются как сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые).

Рис. 15. Схема размещения интрузий еланского комплекса в Тамбовско-Волгоградской зоне Хоперского мегаблока ВКМ (по Н.М. Чернышову, 2004).

1 – кольцевые интрузии и "рои" даек сиенитов и сиенит-порфиров; 2 – интрузии новогольского габродолеритового комплекса; 3 – нормальные и субщелочные гранитоиды бобровского комплекса; 4 – норит-диоритовые субвулканические тела

еланского комплекса; 5 – мафит-ультрамафитовые интрузии мамонского комплекса; 6 – песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии; 7 - границы Тамбовско-Волгоградской зоны; 8 – разновозрастные разрывные нарушения; 9 – никелевые месторождения (1 – Еланское, 2 – Елкинское) и рудопроявления (3 – Абрамовское, 4 – Центральное, 5 – Листопадовское, 6 – Новопокровское, 7 – Новотроицкое) еланского типа

Наиболее промышленно значимое никелевое оруденение еланского типа ассоциировано с субвулканической (преимущественно норит-диоритовой) и дайковой ортопироксенит-норит-диоритовой формацией (Н.М. Чернышов, 2004). Многочисленные интрузивные тела данной формации сосредоточены практически исключительно в пределах относительно узкой, но достаточно протяжённой Тамбовско-Волгоградской зоны Хоперского мегаблока. Этой зоне отвечает полосовидная положительная магнитная аномалия небольшой (до 250 нТл) интенсивности и несколько пониженные значения гравитационного поля. В центральной части зоны, в пределах Елань-Уваровского рудного района, интрузивные и жильные тела рудоносной формации образуют достаточно компактную группу с центром вблизи Елань-Вязовского ультрамафит-мафитового плутона.

В пределах наиболее перспективного для разработки Еланского месторождения выявлено несколько прерывистых (в плане и разрезе) сравнительно мощных зон сульфидного оруденения, которые характеризуются сложным внутренним строением, крайне неравномерным, неупорядоченным чередованием различных структурно-морфологических типов руд и в разной степени минерализованных норитов. Каждая из этих достаточно протяженных (от 400-600 до 1500 м) зон включает ряд крутопадающих пласто-, ленто- и линзообразных рудных тел. Кроме того, весьма протяженная (свыше 1000 м, при ширине до 100 м) зона более бедного сульфидного вкрапленного оруденения вскрыта в южной части Еланского месторождения.

На Елкинском месторождении (рис. 5) никелевое оруденение сконцентрировано в виде протяженной (свыше 1000 м) зоны, в пределах которой крутопадающее линзовидное рудное тело (мощность – до 42 м, прослежено на 500-700 м в глубину) имеет в целом согласное с внутренней структурой кольцевого субвулканического норит-диоритового тела залегание, совпадающее с направлением его северо-западного контакта.

Касаясь физических свойств пород и руд, необходимо отметить, что богатые серой моноклинные разности пирротина, а в сульфидных рудах месторождений никеля ВКМ его содержание доходит до 90-95 %, проявляют свойства ферритмагнетиков и их магнитная восприимчивость достигает 1 ед. СИ и даже более. При этом все разновидности пирротина являются очень хорошими проводниками ($\rho \approx 10^{-4} \dots 10^{-5}$ Ом·м), как и пирит и халькопирит ($\rho \approx 10^{-1} \dots 10^{-4}$ Ом·м).

Магнетит, имеющей высокую проводимость и наибольшую из всех минералов магнитную восприимчивость (до 10 ед. СИ и более), встречается в тесных сростках с сульфидами. На некоторых месторождениях его содержание в медно-никелевых рудах достигает первых десятков процентов.

Для месторождений никеля ВКМ характерна относительно невысокая остаточная намагниченность пород и руд, в частности, у массивных сульфидных руд Елкинского месторождения ее средние значения составляют около 13 А/м. У норитов с бедной вкрапленностью сульфидов её величина изменяется в достаточно широких пределах – от 0,13 до 150 А/м. Магнитная восприимчивость руд никеля может достигать первых десятых долей ед. СИ.

Руды никеля ВКМ, за исключением бедных вкрапленных, весьма низкоомны. Наименьшие значения удельного электрического сопротивления ($10^{-3} \dots 10^{-4}$ Ом·м) характерны для массивных и части вкрапленных руд, в которых сульфиды образуют единую, электрически связанную цементирующую массу.

Рассмотрим вопросы результативности методов скважинной геофизики применительно к поискам и разведке месторождений никеля на Воронежской антеклизе.

Скважинная магниторазведка (СМ). Основными целями применения СМ являются заверка магнитных аномалий и опоскование околоскважинного пространства с целью выявления нескрытых скважинами геологических объектов повышенной намагниченности, каковыми на месторождениях никеля ВКМ бывают обогащенные пирротином рудные тела.

Пример, выполненной автором, локализации рудного тела в околоскважинном пространстве путем реконструкции формируемого им магнитного поля, осуществленной с помощью пересчета наблюдаемого векторного поля на различные уровни относительно скважины, приведен на рис. 16.

Результаты векторной СМ позволяют по скачкам поля на контактах различающихся по намагниченности пород определять их элементы залегания. Примером могут служить материалы интерпретации данных трехкомпонентной скважинной магниторазведки, проведенной в скв. 9012 на

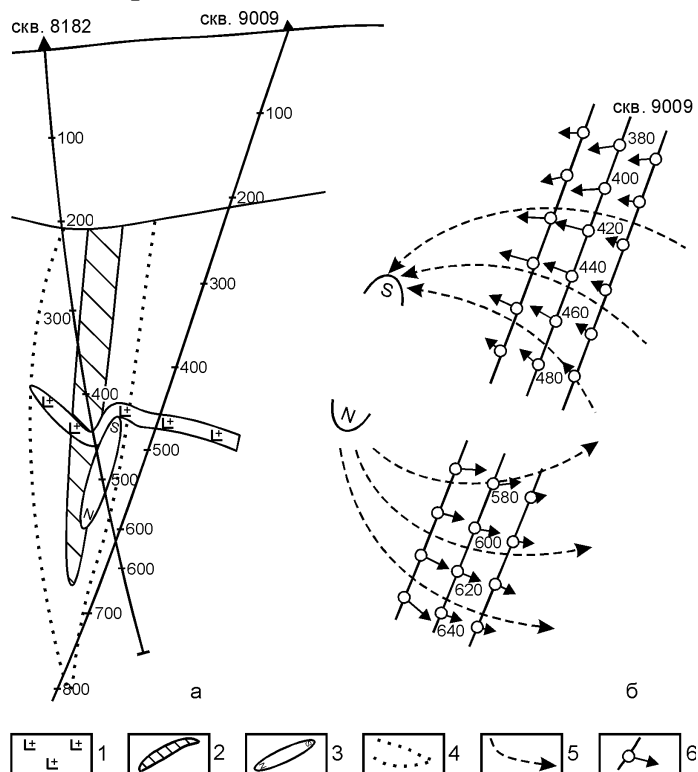


Рис. 16. Геологический разрез по профилю, проходящему через скв. 8182 и 9009, с нанесенным на него пластообразным объектом (а) и векторы магнитного поля по скв. 9009, обусловленного этим объектом (б)

Елкинском месторождении (рис. 17), эти данные позволили уточнить залегание не только самого рудного тела, но и секущей его диоритовой интрузии.

Метод заряда на месторождениях никеля ВКМ применялся в вариантах: электрической корреляции (МЭК), дипольной электрической корреляции (МДЭК), мелкомасштабного заряда (ММЗ) и заряда с измерением магнитного поля (МЗМП). Наибольший объем исследований составлял МЭК, существенно меньший – ММЗ. Применение МДЭК и МЗМП носило опытный характер. По результатам работ были сделаны выводы о неэффективности этих методов в условиях никелевых месторождений ВКМ.

Метод электрической корреляции проводился в значительном количестве рудных скважин на всех месторождениях и некоторых рудопроявлениях сульфидного никеля ВКМ. Основной целью его применения была классическая межскважинная корреляция хорошопроводящих рудных подсечений. Кроме того, метод позволяет выявлять неподсеченные рудные тела в межскважинном и околоскважинном пространстве. Материалы МЭК, проведенного в скважинах Еланского месторождения, с элементами их интерпретации показаны на рис. 18. Поскольку эти

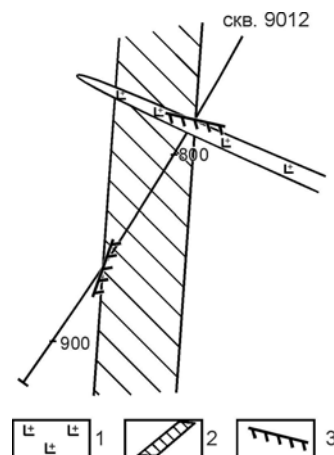


Рис. 17. Определение положения контактов рудного тела с вмещающими породами и дайкой

исследования выполнялись параллельно с работами методом ВП-С, то там же показаны и материалы МЭК ВП.

Данные МЭК указывают на связь рудного подсечения в скв. 7613, куда помещалось зарядное заземление № 8 с интервалами оруденения, вскрытыми скважинами 7823 и 7931.

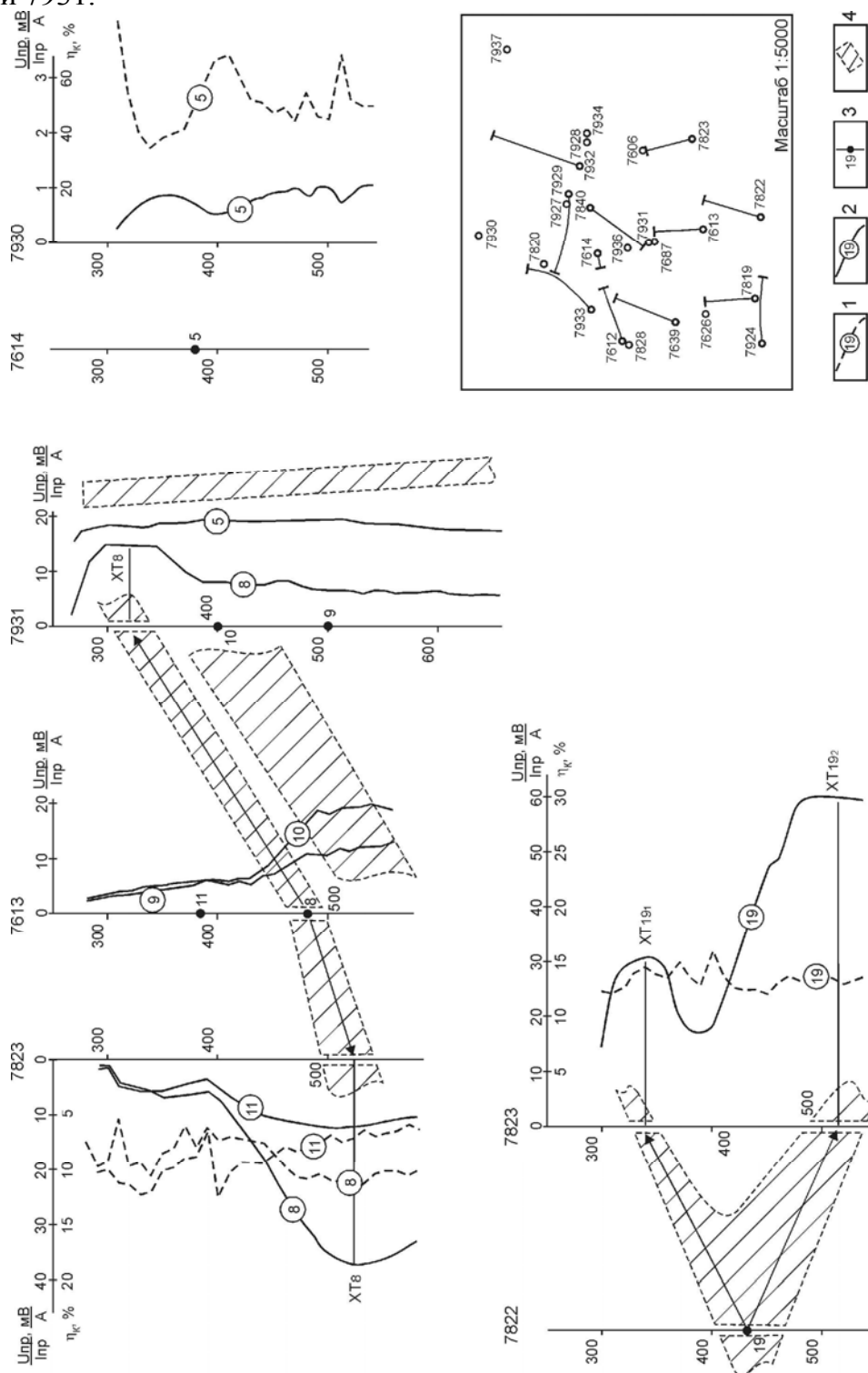


Рис. 18. Результаты МЭК и МЭК-ВП на Еланском месторождении. 1 – кривые ρ_k ; 2 – кривые приведенного потенциала; 3 – положения зарядных заземлений; 4 – предполагаемые зоны высокой проводимости

Характер потенциальных кривых, зарегистрированных при взаимной корреляции между скважинами 7613 и 7931, позволяет прогнозировать наличие обширной слабонаклонной вытянутой зоны сульфидизации в межскважинном пространстве. Вид потенциальной кривой, зафиксированной в скв. 7931 от зарядного заземления № 5, типичен для случая, когда в межскважинном пространстве находится субверти-

кальный хороший проводник, непосредственно не связанный с этим зарядным заземлением. Результаты МЭК между скважинами 7822 и 7823 указывают на наличие электрической связи между рудными подсечения в скв. 7822 и 7823.

Метод мелкомасштабного заряда применяется с целью изучения рудного поля как единого целого, выявления, прослеживания и определения морфологии его отдельных крупных ветвей, а также опоискования флангов и глубоких горизонтов месторождений. Наибольший объем работ ММЗ был выполнен в пределах и на флангах Еланского месторождения, при 6-ти различных зарядах, осуществленных как в рудные, так и безрудные скважины, а также параллельно в три скважины. Достаточно определенно Еланское месторождение отразилось лишь в поле приведенного потенциала (U/I) от заряда, помещенного относительно неглубоко (305 м), практически – в кровлю пород кристаллического фундамента, вскрытую безрудной скважиной 7907, расположенной приблизительно в 1 км от месторождения (рис. 19).

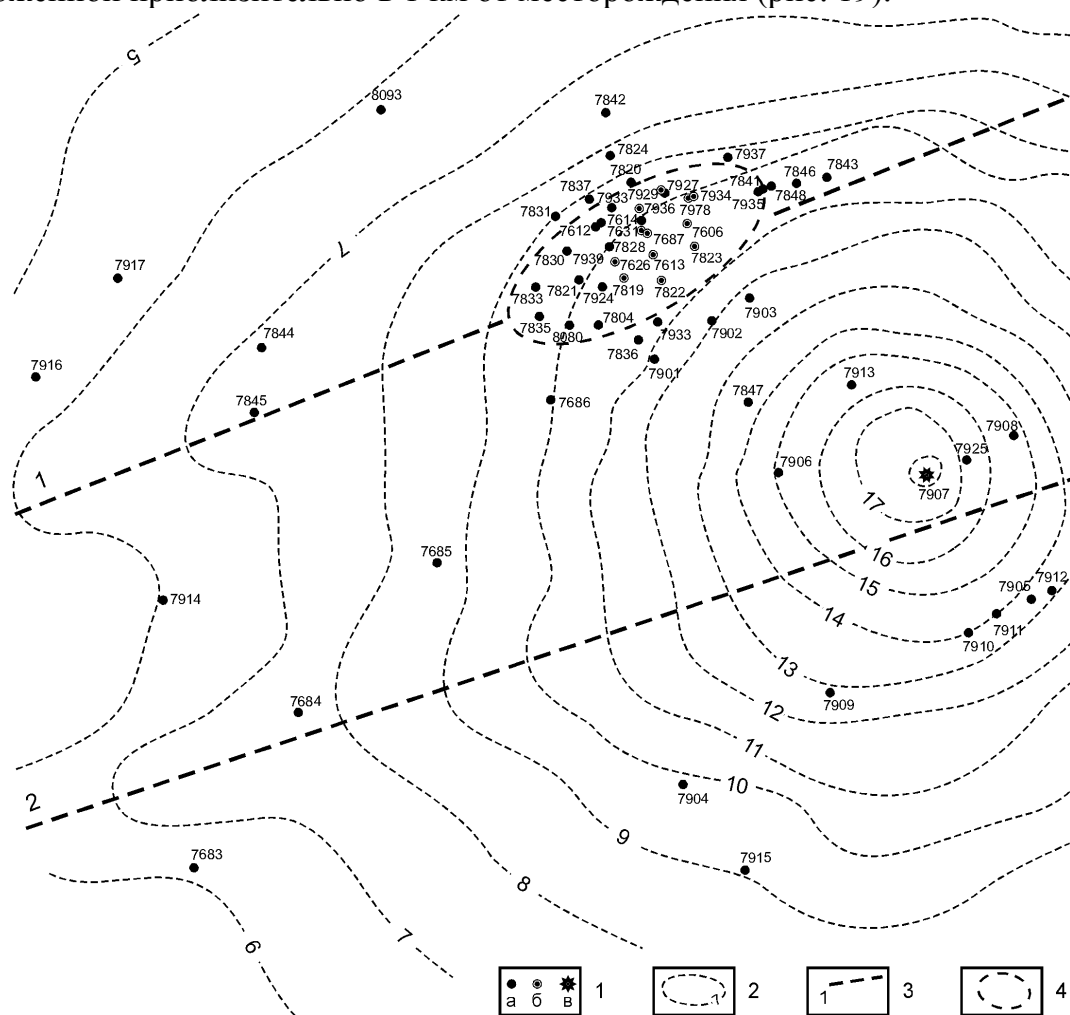


Рис. 19. Результаты исследований методом ММЗ на Еланском месторождении и его флангах (заряд расположен на глубине 305 м в скважине 7907).

1 – скважины (а – безрудные, б – рудные, в – зарядные); 2 – изолинии приведенного потенциала (U/I , мВ/А), проведены через 1 мВ/А (нулевой потенциал выбран условно); 3 – оси проводимости; 4 – контуры зон повышенной проводимости

Вместе с тем, при заряде в рудную скважину 7823 наблюдалось отчетливое смещение эпицентра аномалии приведенного потенциала к северу-северо-западу (рис. 20), а при заряде в безрудную скважину 7937 – к юго-западу, то есть в обоих случаях – в направлении основных объемов оруденения.

Очевидный поисковый интерес представляют аномальные области, проявившиеся в поле заряда, помещенного в скважину 7823 (рис. 20).

Подобные аномалии, бывают обусловлены обладающими хорошей проводимостью локальными объектами и могут отвечать участкам оруденения, которые, судя по структуре поля приведенного потенциала, электрически не связаны как между собой, так и с основной рудной залежью. Кроме того, были выявлены и другие локальные аномалии, отмечаемые в полях иных зарядов, а также обширная проводящая зона южнее Еланского месторождения.

Анализируя материалы ММЗ в целом, необходимо отметить, что весьма протяженные линейные зоны проводимости, которые можно отождествить с зонами разрывных нарушений или иными линейными геологическими объектами высокой электропроводности, достаточно уверенно отражаются в полях большинства глубинных зарядов. При этом все они имеют восток-северо-восточное простирание, близкое к $55-60^\circ$ и наиболее четко проявляются в полях зарядов расположенных на линии их простирания. Характерно, что к этим зонам оказываются приуроченными некоторые известные месторождения и рудопроявления никеля.

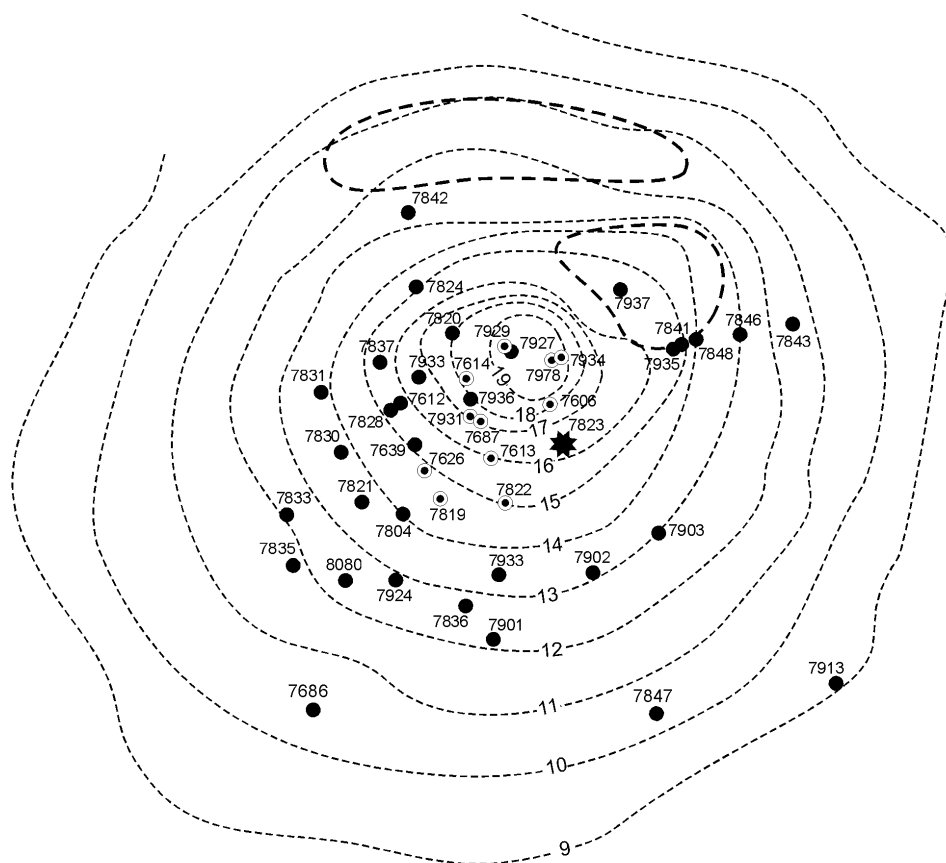


Рис. 20. Аномальные участки поля приведенного потенциала от заряда, помещенного в скважину 7823 на глубину 386 м (усл. обозначения см. на рис. 19)

Обращает на себя внимание то, что наиболее дифференцированные потенциальные поля были получены от зарядов, помещенных относительно неглубоко, что может быть вызвано преимущественным вкладом в формирование аномальных полей, объектов, непосредственно выходящих на эрозионную поверхность кристаллического фундамента. Электрические поля более глубоких зарядов имеют меньшую интенсивность из-за того, что в их формировании основную роль играют токи, растекающиеся

в больших объемах пород на значительных глубинах. В таких случаях, при высокой неоднородности разреза по проводимости, эффекты от рудных объектов затушевываются перераспределением токов в окружающем их пространстве (в особенности – в верхних горизонтах). Кроме того, значительно и экранирование "глубинных" электрических полей перекрывающими их хорошо проводящими породами осадочного чехла, для которых весьма характерна насыщенность высокоминерализованными, вплоть до рассолов, водами.

Скважинный вариант метода вызванной поляризации (ВП-С) проводился в модификациях метода электрической корреляции (МЭК ВП), азимутальной съемки и вертикального профилирования.

На Еланском месторождении в большинстве случаев (рис. 18) МЭК ВП не позволил получить четких корреляционных связей между рудными подсециями по кажущейся поляризуемости (η_k). Геологической причиной такой ситуации может являться очаговый характер оруденения и его очень высокая структурно-текстурная неоднородность. Негативную роль сыграло и то, что для повышения производительности работ массовые измерения параметров ВП осуществлялись на относительно небольших временах, когда поляризуемость среды в основном определяется вкрапленным оруденением и, в меньшей степени, зависит от наличия в разрезах массивных руд. Однако в некоторых скважинах были получены отчетливые аномалии ВП, свидетельствующие о присутствии в окрестностях скважин зон сульфидного оруденения.

Азимутальная съемка ВП осуществляется по схеме "поверхность-скважина" установками, имеющими формулу $A_{пов}B_{\infty}M_{скв}N_{пов}$ или $A_{пов}B_{\infty}MN_{скв}$, с целью поисков рудных тел в околоскважинном пространстве и определения формы и параметров, характеризующих их залегание.

В качестве примера можно рассмотреть имеющие практический интерес результаты азимутальной съемки ВП, вблизи Еланского месторождения (рис. 21). Скважина № 8802 вскрыла нориты с маломощными интервалами сульфидной минерализации. В пределах глубин 588-603 м каротажем ВП с зондом *B1A5M1N* была зафиксирована аномалия кажущейся поляризуемости, сопровождающаяся понижением УЭС до 200 Ом·м на фоне 2-5 тыс. Ом·м в остальной части разреза. С увеличением длины применявшейся зондовой установки ВП, росли протяженность и интенсивность аномалии. Анализ переходных характеристик ВП в аномальных интервалах позволил предполагать наличие в околоскважинном пространстве зон прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации.

Для определения положения аномального объекта была выполнена азимутальная съемка ВП, при которой электрод *A* заземлялся вдоль 8 лучей на удалении 400, 800 и 1200 м от устья измерительной скважины. Результаты исследований показали, что перемещение питающего электрода вдоль лучей 4 и 5, с увеличением удаления с 400 до 800 м, сопровождается интенсивным ростом значений кажущейся поляризуемости, которое сменяется резким спадом с тенденцией к изменению знака аномалии при удалении до 1200 м.

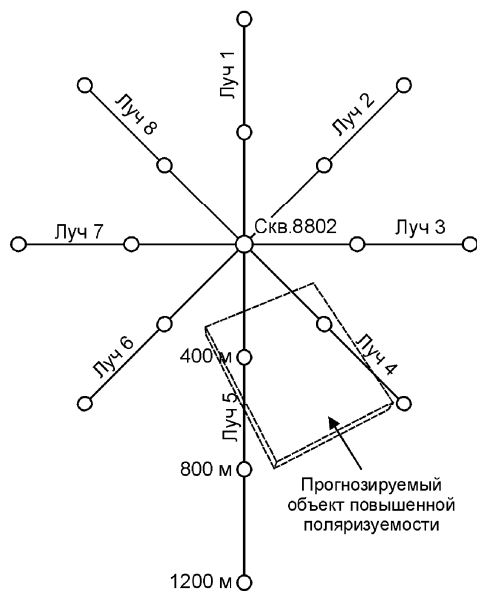


Рис. 21. Результаты интерпретации материалов азимутальной съемки ВП

Анализ всего комплекса аномалий ВП, полученных при различных положениях электрода *A*, позволяет предложить наиболее вероятный вариант интерпретации, в соответствии с которым, пластообразный аномалиеобразующий объект, имеет наклон в сторону исследованной скважины, залегание нижней части в пределах глубин 550 – 650 м, а его верхняя кромка находится на расстоянии несколько превышающем 800 м и может располагаться существенно выше нижней.

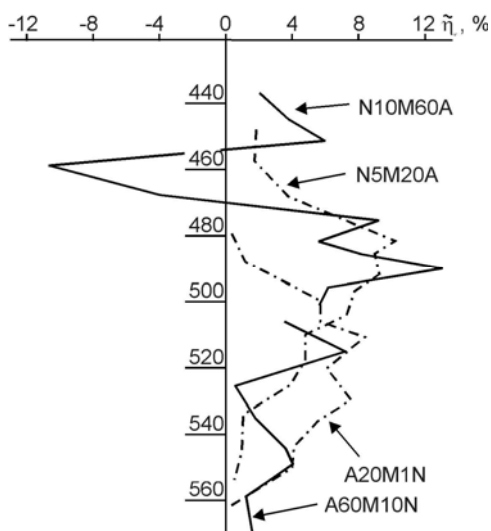


Рис. 22. Результаты профилирования ВП

Вертикальное профилирование ВП осуществляется скважинными установками, имеющими формулу $AMN_{\text{СКВ}}B_{\text{ПОВ}}$. Основной целью исследований являются поиски рудных тел в околоскважинном пространстве и, по форме и чередованию знаков аномалий, определение их геометрических параметров.

Подобные работы, выполненные на Жердевском участке, имели целью определение источников аномалий проводимости, выявленных наземной электроразведкой, для чего, в числе прочего, в этих скважинах было проведено профилирование ВП установками *N5M20A*, *A20M1N* и *N10M60A* и каротаж ВП зондом *A5M1N* (рис. 22).

Практический интерес представляет наблюдаемая на кривой профилирования, выполненного в одной из скважин с установкой *N10M60A*, довольно интенсивная отрицательная аномалия ВП, которая ниже по разрезу переходит в положительную. Подобные аномальные поля характерны для наклонных пластообразных объектов, находящихся относительно исследуемой скважины с противоположной стороны от поверхностного заземления *B*. Таким образом, поскольку электрод *B* был заземлен в 800 м к юго-востоку от скважины, рудное тело должно находиться к северо-западу от нее. Область исследования зонда *N10M60A* ориентировочно составляет величину порядка 65 м и, так как подобной картины аномального поля не наблюдается при проведении исследований с 20-ти метровыми зондами, можно предполагать, что аномалиеобразующий объект достаточно ограничен по падению, имеет пластообразную форму и залегает на расстоянии от 25 до 60 м от скважины.

Отметим, что скважинной магниторазведкой в этой скважине на глубинах 440-670 м были зафиксированы "боковые" аномалии вертикальной составляющей магнитного поля интенсивностью до 1 мкТл.

Исследования скважинным вариантом метода естественного электрического поля (ЕП-С) позволяют выявлять в околоскважинном пространстве рудные тела и определять их элементы залегания.

В пределах ВКМ работы методом ЕП-С проводились на ранних этапах исследований. В частности, они ставились в ряде скважин Нижнемамонского месторождения. При этом рудные тела, в том числе и неподсеченные скважинами, достаточно уверенно проявились в материалах ЕП-С. На рис. 23 представлен один из возможных вариантов интерпретации этих данных. Общий отрицательный, относительно ровный фон естественного электрического поля свидетельствует о том, что скважинами вскрыт участок разреза вблизи верхних частей протяженных субвертикальных рудных тел, корни которых уходят на значительные глубины.

Радиоволновое просвечивание (РВП) на месторождениях никелевых руд ВКМ РВП применялось, начиная с самых первых этапов их разведки – 60-х годов прошлого века. В частности, исследования тех лет позволили детализировать строение рудных зон на Нижнемамонском месторождении.

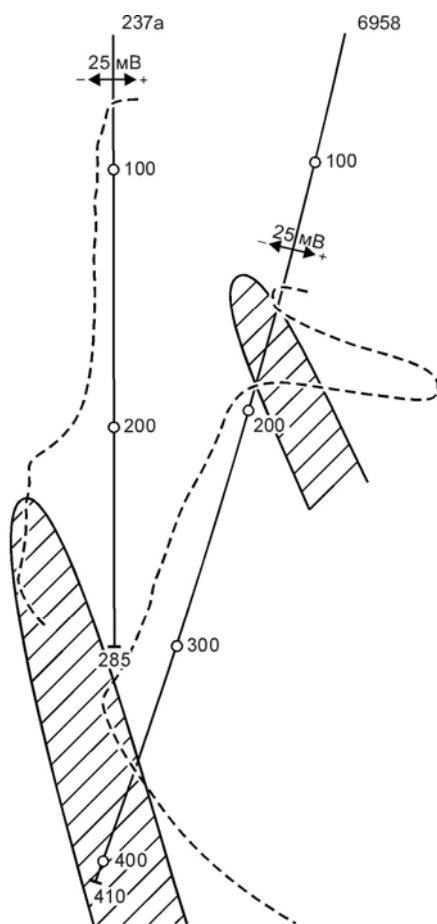


Рис. 23. Интерпретация материалов ЕР-С на Нижнемамонском месторождении

Наиболее значительный объем исследований методом РВП был выполнен сотрудниками ЦНИГРИ на рубеже 80-х –90-х годов XX века (В.А. Истратов, 1989, 1992). Эти работы показали, что рудные тела на месторождении являются хорошими электромагнитными экранами и достаточно благоприятны для своей локализации в межскважинном пространстве с помощью РВП. В 92-94 % случаев они отмечаются значениями коэффициентов экранирования, превышающими 10, при этом безрудным участкам в 74 % случаев отвечают коэффициенты экранирования менее 10.

Вместе с тем, несмотря на благоприятные предпосылки, однозначно положительно результаты именно этих работ оценены не были.

Таким образом, при изучении особенностей геологического строения рудных объектов, аналогичных месторождениям и рудопроявлениям никеля Воронежской антеклизы, наиболее эффективны методы скважинной электроразведки, выполняемой при детализации строения рудных зон и геометризации отдельных рудных тел – в межскважинном и односкважинном вариантах и вариантах поверхность-скважина и скважина-поверхность, а при поисковых работах в варианте скважина-поверхность. Причем в последнем случае, в условиях глубокого залегания объектов оруденения, зарядные заземления следует помещать

вблизи кровли пород кристаллического фундамента.

Дополнительная информация, характеризующая геологическое строение межскважинного пространства, учитывается путем введения в информационную базу проекта так называемых «фиктивных (виртуальных) скважин», которым приписывается наличие рудных подсечений.

Повысить достоверность результатов моделирования геологических объектов способна более точная пространственная привязка результатов скважинных исследований, что может быть реализовано за счет учета неравномерного движения скважинных приборов при проведении исследований, а также привлечением более совершенных подходов к реализации материалов инклинометрии.

Неравномерные перемещения скважинных приборов – линейные (вдоль оси скважины) и угловые (вращение), особенно характерные при проведении геофизических исследований в скважинах имеющих значительные отклонения от вертикали, приводит к искажению регистрируемых каротажных диаграмм.

Периодическое интенсивное вращение скважинного прибора в процессе каротажа отмечалось при проведении наклонометрии. Анализ материалов свидетельствует,

что скважинный прибор, сделав 1-2 оборота по часовой стрелке, следом делал примерно столько же оборотов против часовой стрелки, а при нескольких повторных подъемах совершал, как правило, те же вращательные движения, с точностью до 1-2 м, привязанные к определенным глубинам. Важно отметить, что вращение происходило крайне неравномерно – скважинный прибор мог практически не вращаться на интервале 30-40 м и сделать на соседнем интервале той же протяженности 2-3 полных оборота.

Подобное интенсивное вращение скважинного прибора способно существенно исказить форму регистрируемых каротажных кривых в случае, если используются геофизические датчики, имеющие выраженную радиальную направленность области исследования.

Не менее серьезные проблемы создает неравномерное осевое перемещение скважинного прибора, который может быстро "проскакивать" одни интервалы и, в моменты прослабления каротажного кабеля, "притормаживаться" против других. Неравномерное движение скважинного прибора может быть учтено по показаниям акселерометра, включённого в его компоновку.

Точность построения траекторий скважин была изучена применительно к реализации материалов инклинометрии скважин наклонно-направленного бурения. Оказалось, что при "традиционной" методике построений проекции скважины длиной 500 м (её форма соответствовала $\frac{1}{4}$ окружности) прямолинейными 20-ти метровыми отрезками, отклонение её забоя от фактического положения достигает 10 м по вертикали и 9 м по горизонтали.

С учётом полученных результатов, был разработан программный модуль ZENIT 1.2, предназначенный для расчета и трехмерной визуализации траекторий скважин. В модуле используется алгоритм, основанный на построении участков ствола скважины криволинейными отрезками, кривизна которых определяется динамикой изменения зенитных и азимутальных углов. Тестирование ZENIT 1.2 показало высокую эффективность применённого алгоритма. Модуль ZENIT 1.2 может использоваться и для проводки скважины при её наведении на продуктивный пласт. Для контроля проводки на экран дисплея выводится вертикальный криволинейный разрез, соответствующий в плане профилю скважины (рис. 24).

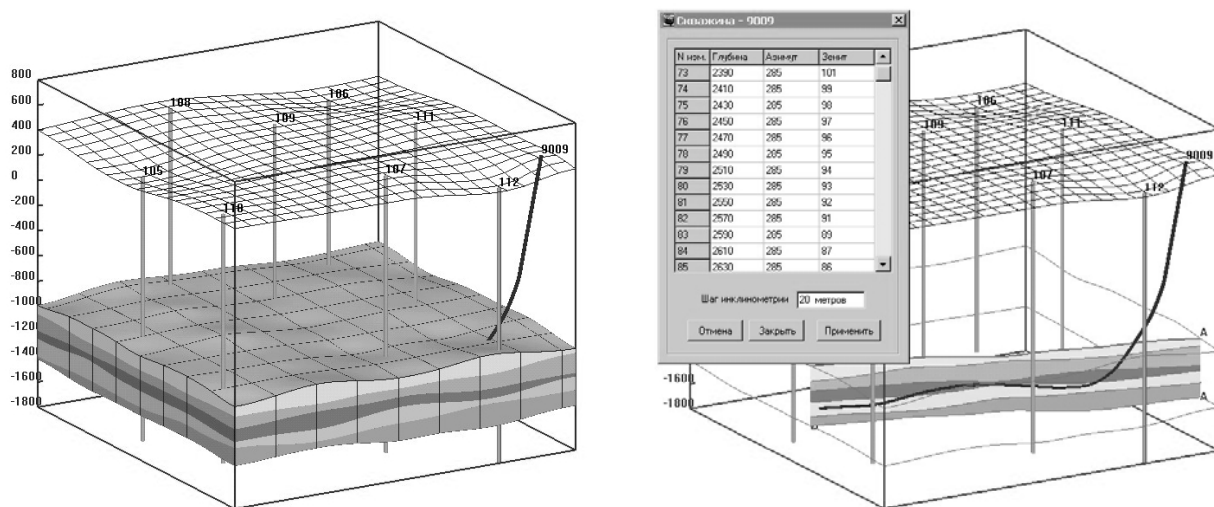


Рис. 24. Трехмерная компьютерная модель пачки пластов и проектируемой скважины

Таким образом, *повышение достоверности структурно-геологических построений на месторождениях, разведка которых осуществляется скважинами наклонно-направленного бурения, может быть достигнуто учетом неравномерного движения скважинных приборов при проведении ГИС и применением более совершенных алгоритмов реализации данных инклинометрии.*

2. Технология изучения осадочного чехла закрытых территорий, предполагающая дополнение стандартного комплекса методов геофизических исследований в скважинах каротажем магнитной восприимчивости и скважинной магниторазведкой, обеспечивающая эффективную корреляцию вскрытых скважинами разрезов, а также выявление геологических объектов, являющихся источниками наземных аномалий геофизических полей или носящих рудоконтролирующий характер [1, 2, 11, 14, 15, 30, 31, 40].

В процессе геолого-геофизических исследований закрытых территорий имеющих рудную направленность, основное внимание обычно уделяется её фундаменту. В частности, рудоносность Воронежскому кристаллическому массиву (ВКМ) была выявлена достаточно давно (рис. 1), а то, что в центральной части антеклизы фундамент залегает на глубинах не превышающих первые сотни метров (вплоть до выхода на поверхность в районе г. Павловск), делало локализованные в нем полезные ископаемые перспективными для освоения. При этом, характерно, что наличие аномалий наземных геофизических полей обычно увязывалось с дифференциацией физических свойств пород и руд кристаллического фундамента, но никак не с возможным присутствием вещественных неоднородностей в осадочном чехле. Соответствующим образом строилась не только интерпретация геофизических материалов, но и методика проведения исследований. В частности, при заверке магнитных аномалий скважинная магнитометрия выполнялась только в пределах пород фундамента.

В практике геологоразведочных работ, и исследования на Воронежской антеклизе являют тому характерный пример, процедура корреляции осадочной части разреза, как правило, осуществляется по результатам бурения. Подобный подход не позволяет осуществлять детальные исследования латеральных изменений литологии и физического состояния осадочных отложений, в том числе с целью выявления рудоносных и рудоконтролирующих объектов.

Иллюстрацией возможностей ГИС при расчленении и площадной корреляции осадочных разрезов могут служить результаты изучения условий залегания карбонатных пород турнейского яруса каменноугольной системы, полученные в рамках выполнения Государственной программы по геологическому доизучению площадей масштаба 1:200000 (ГДП-200) на территории листов М-37-ХVI и М-37-ХХII.

В пределах Воронежской антеклизы, образования турнея расчленяются снизу вверх на купавнинскую (C_{1kp}), малевскую (C_{1ml}), упинскую (C_{1up}) свиты нижнего подъяруса, а также черепетскую ($C_{1\check{c}p}$) и ильичевскую (C_{1il}) свиты верхнего подъяруса. Турнейские отложения подстилаются глинисто-карбонатными породами хованской свиты верхнего девона (D_3hv), а перекрываются песчано-глинистыми образованиями дмитриевской свиты нижневизейского подъяруса (C_{1dm}) или, с размывом, песчаными отложениями верхнего мела (K_2).

Корреляция отложений турнейского яруса по данным ГИС была выполнена по нескольким взаимовязанным профилям I-II, II-III, IV-V, VI-VII и I-VIII (рис. 25). В качестве линии совмещения на корреляционных схемах выбрана подошва отложений черепетской свиты, однозначно идентифицируемая по данным ГИС.

При корреляции разрезов (рис. 26) использовались геофизические реперы, обозначенные цифрами 1-5, которые уверенно выделялись по признакам формы на кривых КС, зарегистрированных во всех скважинах, вскрывших породы турнейского яруса на исследуемой площади. В стратиграфическом плане репер 1 приурочен к породам черепетской и ильичевской свит, репер 2 – упинской свите, репер 3 – малевской свите, репер 4 – купавнинской свите и репер 5 – отложениям хованской свиты девонской системы.

Для отложений каменноугольного возраста наиболее надежным геофизическим репером на всей площади исследований является репер 1. Практически по всем скважинам, вскрывшим отложения этого горизонта, ему отвечает кривая КС очень характерной и выдержанной, часто повторяющейся в деталях, формы. В большинстве случаев данному горизонту соответствуют наиболее высокие значения кажущегося удельного электрического сопротивления и низкие значения естественной гамма-активности.

Предлагаемая технология проведения площадной корреляции по данным ГИС предполагает на первом этапе, путем последовательного сопоставления результатов ГИС по отдельным скважинам, построение опорного корреляционного профиля, по которому наблюдается наиболее уверенная корреляция вскрытых скважинами отложений. Дальнейшую корреляцию следует выполнять по профилям любой ориентировки, но, в обязательном порядке, включающим скважины с опорного профиля.

Подобная детальная корреляция может быть применена и при выявлении важных геологических характеристик исследуемых разрезов. В частности, наблюдается явное сходство кривых ГК, зафиксированных в лежащих практически на одной прямой скважинах 2032, 9046, 9045, 9039 и 9038. Поскольку в данном случае естественная радиоактивность пород определяется содержанием в разрезе глинистой составляющей, то можно предполагать, что вдоль этой линии изменения привноса терригенного материала были синхронными, то есть параллельно ей происходили колебания береговой линии бассейна осадконакопления. Кроме этого по скважинам 9038, 9039, 9042, 9044 и 410 в пределах купавнинской и хованской свит на кривых КС и ГК наблюдается достаточно четкая ритмичность, отвечающая увеличению содержания глинистого материала от подошвы к кровле этой пачки. Такой характер изменения содержания глинистого материала по вертикали, ассоциируется с трансгрессией моря при частой смене энергетической обстановки.

Площадной анализ результатов ГИС не только повышает объективность геологических построений, но и в ряде случаев позволяет проследить пространственную динамику изменения состава и строения изучаемых разрезов. В частности, по профилям, ориентированным практически вкrest опорному профилю I–II, наблюдается за-

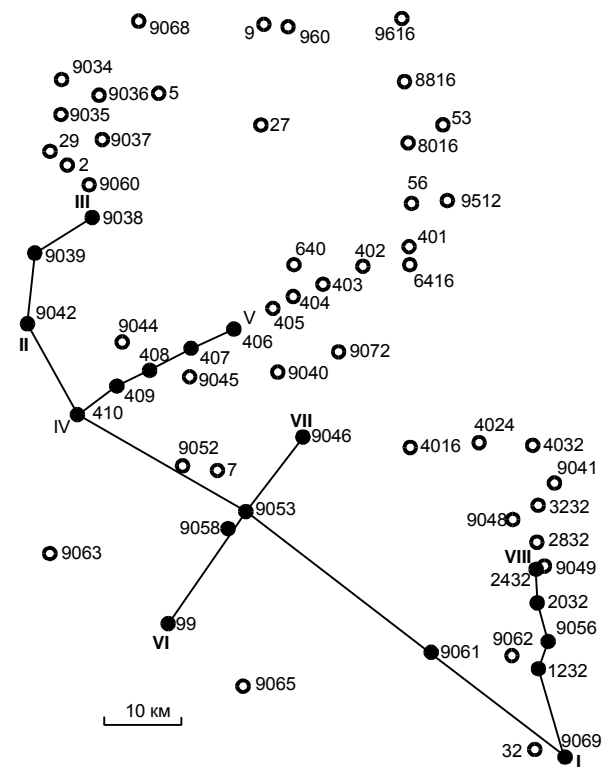


Рис. 25. Схема расположения глубоких скважин на части площади листов М-37-ХVI и М-37-ХХII

кономерное сглаживание формы кривых КС к северо-востоку, что можно связать с изменением существовавших в турнейском веке условий осадконакопления в сторону более спокойного режима именно в этом направлении. Однако подобные изменения могут быть вызваны и эпигенетическими преобразованиями, обусловленными выводом отложений в приповерхностные условия в процессе денудации, предшествовавшей накоплению отложений мелового возраста или их повышенной трещиноватостью и гидротермальной проработкой на участках внедрения магматических тел. Отметим, что каменноугольные отложения Воронежской антеклизы представляют значительный поисковый интерес, поскольку на территории Восточно-Европейской алмазонасной провинции прогнозируется наличие проявлений кимберлитового магматизма прежде всего именно позднедевонско-раннекаменноугольного возраста.

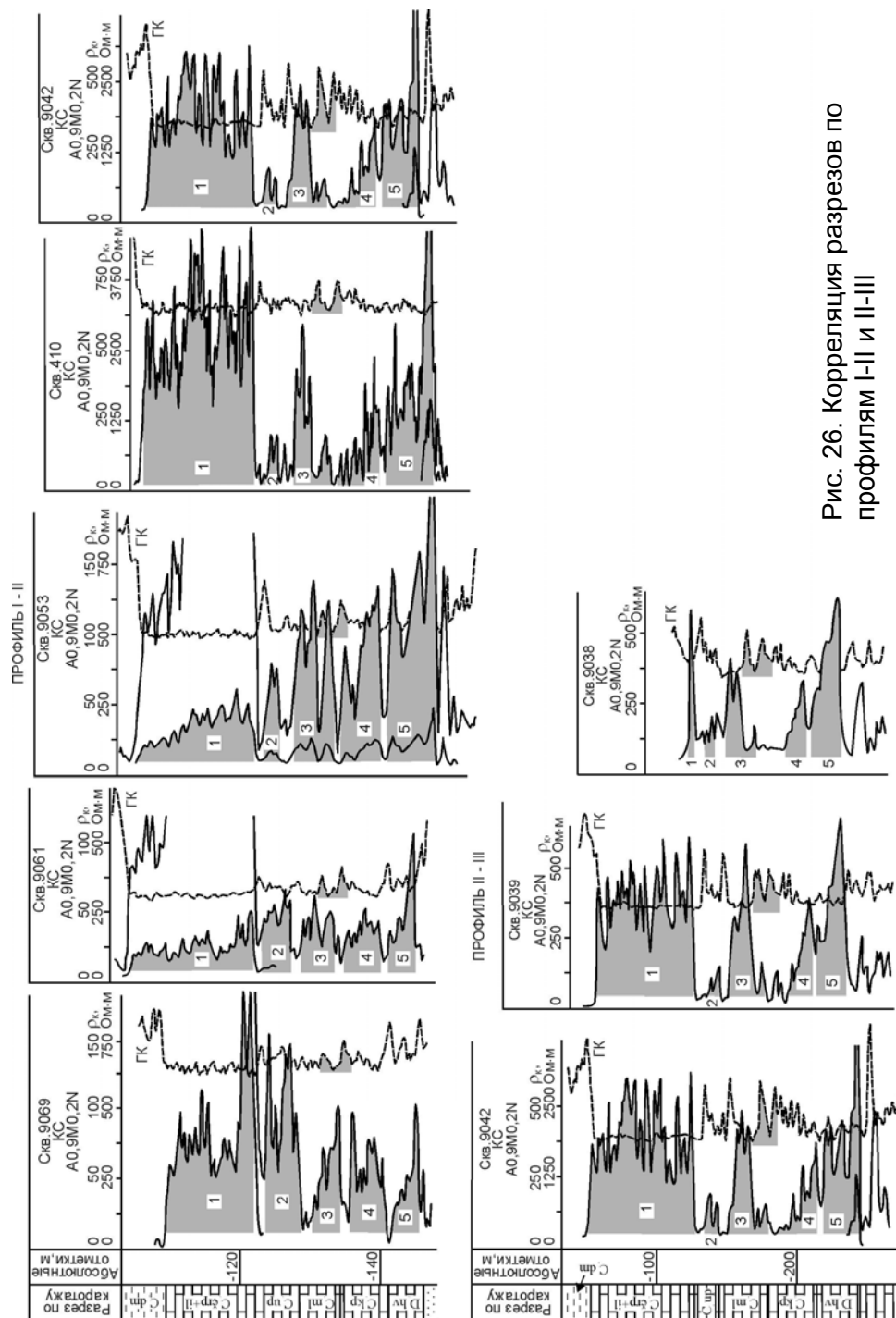


Рис. 26. Корреляция разрезов по профилям I-II и II-III

В некоторых случаях результаты стандартного каротажа не позволяют уверенно расчленять разрез, а тем более проводить его корреляцию. Повышение эффективности применяемого комплекса ГИС возможно путём его дополнения более информативными в подобных ситуациях методами, среди которых можно выделить высокоточный КМВ (ВКМВ) и спектрометрическую модификацию ГК (ГК-С). Информативность ГК-С потенциально очень высока, но его практическая реализация может встретить затруднения, связанные, в том числе с весьма высокой стоимостью аппаратуры и программно-методического обеспечения. Существенно проще в реализации ВКМВ, однако его применение бывает достаточно эффективным, особенно при расчленении терригенных разрезов (С.И. Билибин, 1982).

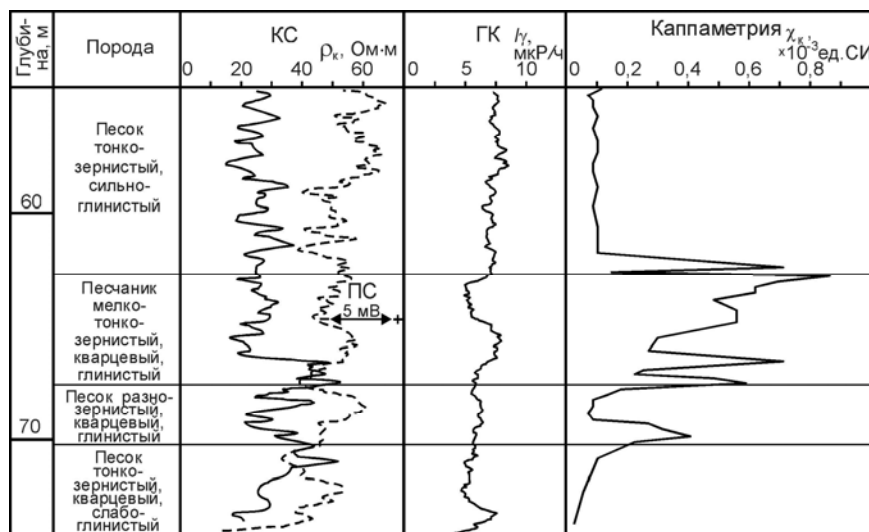


Рис. 27. Результаты каротажа и капаметрии керна скв. 411

каротажа, однако он отчетливо проявляется повышенными значениями магнитной восприимчивости, фиксируемыми капаметрией.

Определение геологической природы аномалий наземных геофизических полей занимает важное место в геологоразведочном процессе и обычно предполагает бурение скважин с целью вскрытия аномалиеобразующего объекта.

Геофизические исследования в подобных заверочных скважинах играют определяющую роль. При этом большой информационный потенциал несут в себе методы скважинной геофизики, позволяющие опосредованно исследовать околоскважинное пространство, что особенно важно в случае, если заверочная скважина не вскрыла объект-источник аномалии.

Примером могут служить результаты ГИС (рис. 28), выполнявшихся автором с целью выяснения геологической природы наземных магнитных аномалий в юго-восточной части Воронежской антеклизы, перспективной на наличие проявлений кимберлитового магматизма.

Исследованные скважины 11 и 11а располагались на расстоянии порядка 250 м друг от друга и в своих призабойных частях, на глубинах около 150 м, вскрыли породы кристаллического фундамента. Аномалии вертикальной составляющей магнитного поля Z_a интенсивностью до 350 нТл оказались приуроченными к комплексу песчано-глинистых отложений вблизи границы раздела пород четвертичного и неогенового возрастов.

Результаты КМВ и характер кривых СМ свидетельствуют, что их источники не подсечены скважинами. Параметры аномалий не допускают однозначного и относи-

Подтверждением вышесказанному служат данные капаметрии скважин, пройденных при проведении ГДП-200 листа N-37-XXX (рис. 27).

Из результатов каротажа следует, что пласт мелкозернистого, кварцевого, глинистого песчаника, приуроченный к границе мела и юры, практически не находит своего выражения в кривых стандартного

тельно простого их толкования, однако позволяют предполагать, что аномальные тела располагаются на небольшом удалении от скважин (ориентировочно – не далее 5-10 м). Один из возможных вариантов интерпретации качественного уровня с привлечением различным образом намагниченных пластообразных тел показан на рис. 28.

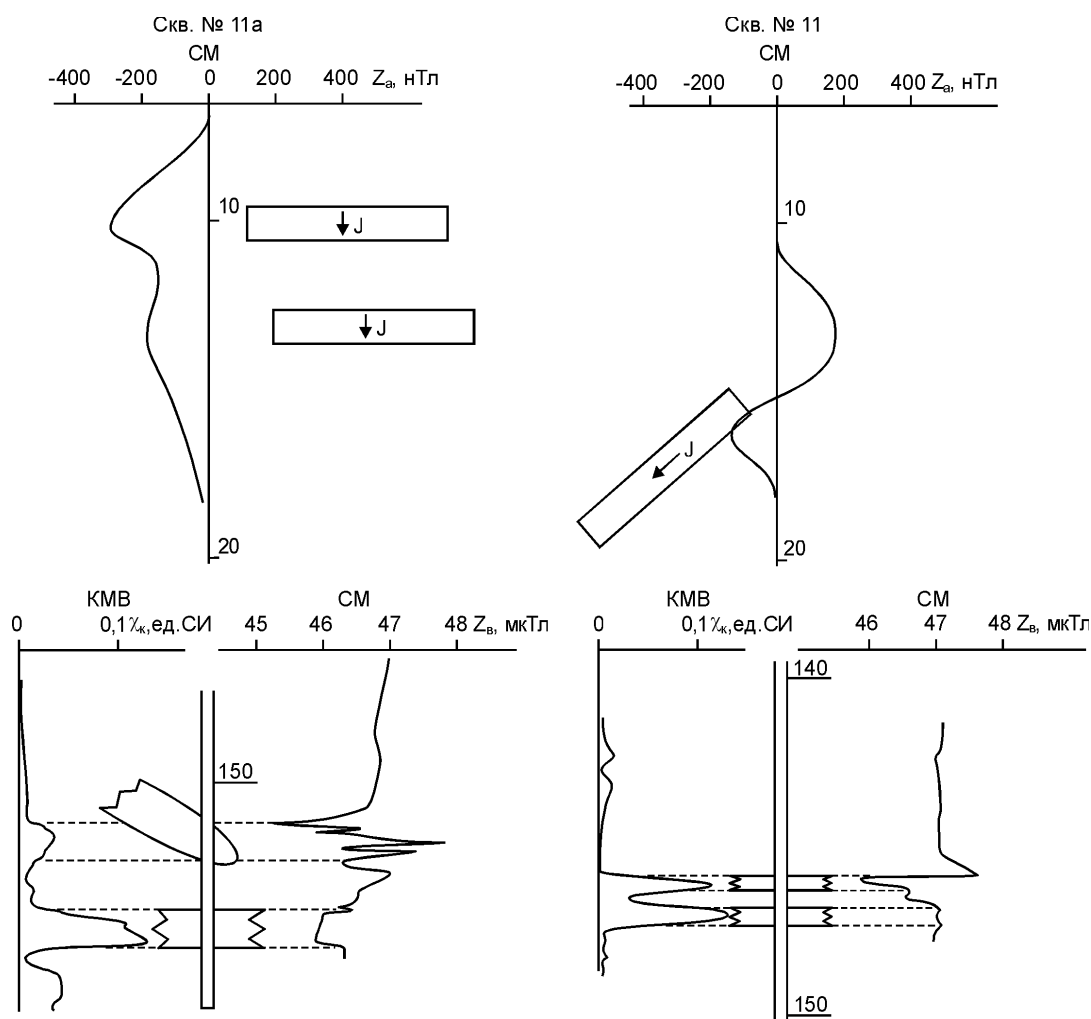


Рис. 28. Данные СМ и КМВ, в сопровождении одного из вариантов их качественной интерпретации

Очевидные преимущества перед измерениями одной лишь вертикальной составляющей или абсолютных значений магнитного поля в скважинах, практикуемыми в настоящее время, имеют векторные измерения. Их результаты позволяют исследовать пространственную структуру поля. Однако широкому использованию векторной скважинной магнитометрии препятствует то, что трёхкомпонентные магнитометры обычно имеют гравитационную систему ориентации и предназначены для измерения ортогональных составляющих магнитного поля в скважинах, зенитный угол которых не менее $2-3^\circ$. Решением проблемы могла бы быть разработка скважинного магнитометра с гироскопической системой ориентации или бурение заверочных скважин с незначительным отклонением от вертикали ($\sim 3^\circ$).

Принципиально важным является то, что приведенные выше результаты скважинной магниторазведки впервые, на полученном автором практическом материале, опровергли представления о том, в пределах Воронежской антеклизы осадочная часть разреза практически стерильна относительно наличия в ней объектов, способных создавать сколько-нибудь интенсивные наземные аномалии магнитного поля. В после-

дующем, аналогичные данные были получены автором и в иных районах на территории Воронежской антеклизы.

На рис. 29 приведены результаты геофизических исследований в скважине пробуренной с целью установления геологической природы источника наземной магнитной аномалии, предположительно связанной с объектом кимберлитового магматизма. Скважина задавалась в эпицентре относительно изометричной аномалии размерами

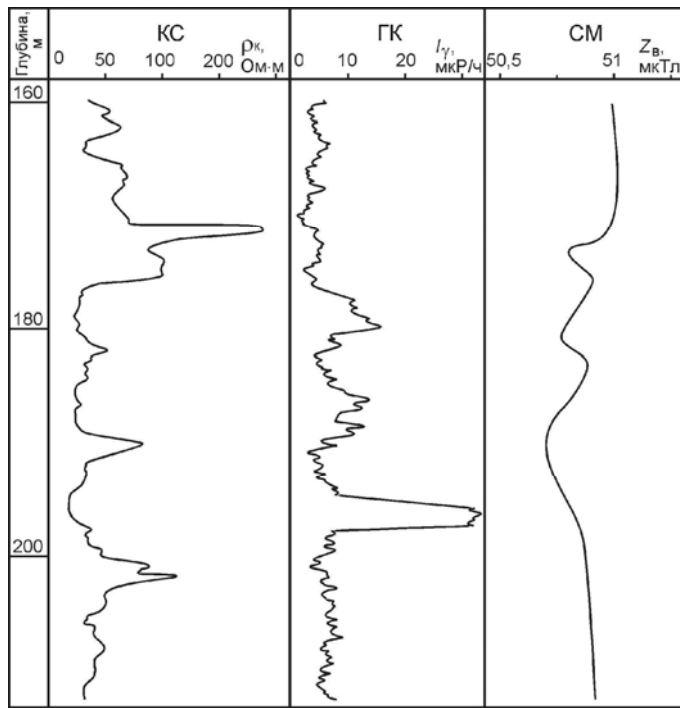


Рис. 29. Результаты ГИС в карбонатной части разреза скв. 112 (Тамбовская обл.)

150×120 м и интенсивностью около 30 нТл. По результатам геологического изучения керна был сделан вывод, что скважина не вскрыла объект, который бы мог создать подобную аномалию. Геофизическая проверка аномалии осуществлялась стандартным комплексом ГИС, дополненным скважинными измерениями вертикальной составляющей магнитного поля (Z_v).

Скважинная магниторазведка в части разреза, сложенной кавернозными и глинистыми известняками, зафиксировала наличие "боковой" аномалии магнитного поля, свидетельствующей о присутствии объекта повышенной намагниченности в околоскважинном пространстве. Достаточно высокие градиенты аномалии, при интенсивности 250-300 нТл, указывают на то, что аномалие-

образующий объект находится в пределах первых метров от скважины и имеет ограниченные вертикальные размеры – не более 20-25 м.

Необходимо обратить внимание на то, что и на диаграммах КС и ГК, против аномального по данным СМ участка разреза, также фиксируются аномальные показания. В частности, на кривой ρ_k отмечаются как весьма низкие, так и весьма высокие значения УЭС, которые не характерны для остальной части разреза, а на кривой I_γ данному интервалу отвечают не только в целом повышенные значения естественной γ -активности, но и участок аномально высоких, вплоть до 35 мкР/ч, значений.

Принимая во внимание, что в описании, кроме неполного выхода керна, отмечается развитие по всей толще известняков участков брекчирования, все вышесказанное позволяет предполагать, что в интервале глубин 172-203,5 м скважиной вскрыт подвергшийся метасоматической проработке участок разреза, непосредственно примыкающий к ограниченному по вертикали апофизу интрузивного тела.

Таким образом, *детальная корреляция осадочных разрезов, выполняемая по материалам геофизических исследований в скважинах в соответствии с разработанной технологией, позволяет определять условия осадконакопления коррелируемых отложений и выявлять воздействие на них различных постседиментационных процессов эпигенетического характера, с которыми может быть ассоциировано оруденение. Для более уверенной корреляции терригенных разрезов методы стандартного каротажа (КС, ПС и ГК) целесообразно дополнить каротажом магнитной воспри-*

имчивости, предпочтительнее – в его высокоточной модификации (ВКМВ). При выполнении работ по заверке наземных аномалий магнитного поля необходимо учитывать возможность локализации их источников в пределах осадочного чехла и, исходя из такой возможности, планировать методику проведения ГИС. Материалы скважинной магнитометрии позволяют с большей надежностью выявлять и пространственно локализовывать участки разрезов скважин, подвергшиеся метасоматическим преобразованиям, обусловленным внедрением рудоносных тел или влиянием объектов, способных контролировать оруденение.

3. Технология геофизических исследований скважин, позволяющая повысить достоверность структурно-геологических построений в пределах железорудных магнетитовых месторождений, которая предполагает проведение скважинной пластовой индукционной наклонотрии в едином измерительном цикле с каротажем магнитной восприимчивости и соответствующие анализ и статистическую обработку получаемых данных [2, 3, 19-21, 23, 32, 43-45].

Месторождения магнетитовых руд всегда составляли основу отечественной черной металлургии. К настоящему времени разрабатываемые месторождения-гиганты Курской магнитной аномалии (КМА), в которых сосредоточено не менее двух третей от разведанных запасов и прогнозных ресурсов железных руд России, обеспечивают порядка 52 % от потребности страны в данном виде сырья.

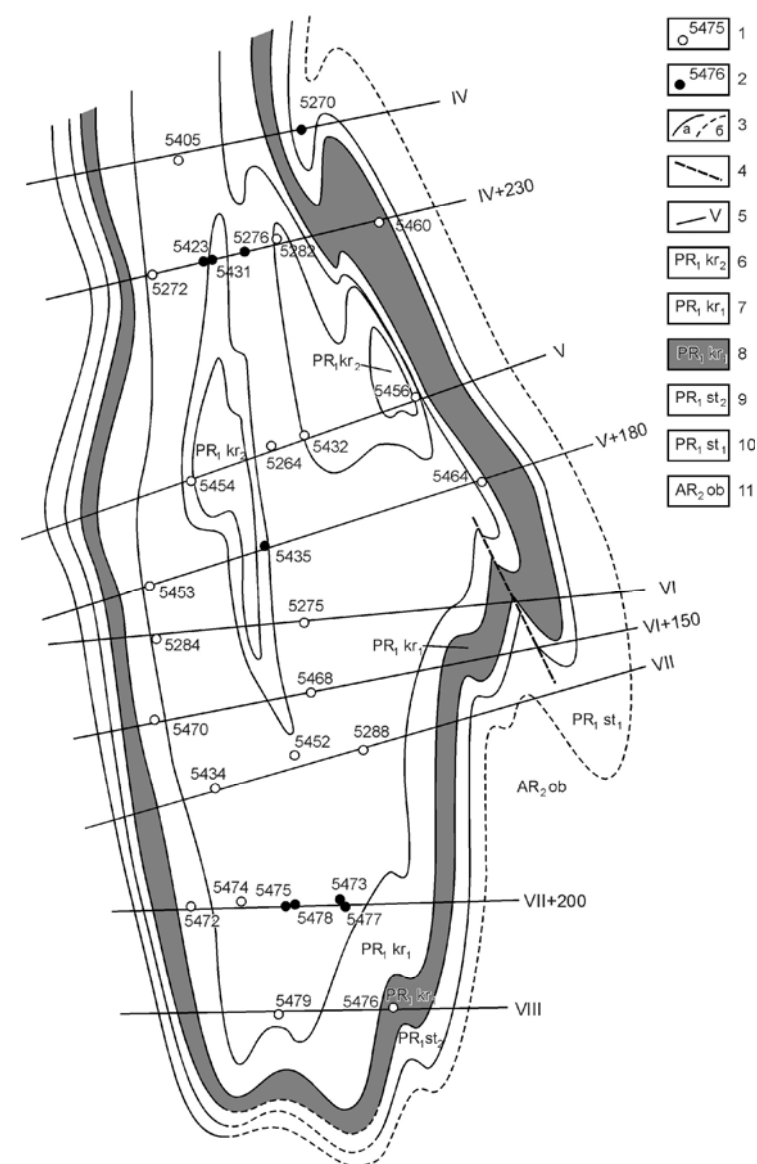
Как правило, месторождения железистых кварцитов КМА представляют собой крупные крутопадающие синклинальные структуры, длина которых достигает нескольких километров, а ширина по поверхности кристаллического фундамента – от сотен метров до первых километров. Крылья таких синклинальных складок осложнены интенсивной складчатостью более высоких порядков.

На месторождениях железистых кварцитов расчленение разрезов осуществляется с помощью КС и ГК в их осадочной части и с привлечением результатов каротажа магнитной восприимчивости (КМВ) по рудным интервалам. Межскважинная корреляция разрезов проводится на основе материалов исследований теми же методами с привлечением, по возможности, данных наклонотрии, скважинной магниторазведки и результатов отбора образцов ориентированного керна, позволяющих определять элементы залегания пересеченных скважинами контактов.

Одной из важнейших в прикладном отношении задач является *повышение достоверности структурно-геологических построений*.

Большинство месторождений железистых кварцитов КМА представляют собой сложнодислоцированные структуры, на которых с определенной долей условности выделяются три уровня складчатости. К складкам первого уровня можно отнести весьма крупные, протяженностью сотни и тысячи метров, высокоамплитудные складки. Их поперечные размеры составляют 500 и более метров, т. е. обычно превышают удвоенное расстояние между разведочными скважинами. Подобная складчатость определяет структуру месторождений в целом. Складки второго уровня имеют меньшие поперечные размеры – от десятков до первых сотен метров, а их амплитуда может достигать десятков и более метров. Третий уровень отвечает малоамплитудным (от первых метров до первых дециметров и менее), очень изменчивым по углам наклона и азимутам падения, мелким складкам. Разделение складчатости по уровням соответствует степени их влияния на распределение полезного ископаемого в объеме месторождения. Можно считать, что складки третьего уровня, в отличие от первых двух, такого влияния не оказывают.

Структурно-геологические построения на месторождениях железистых кварцитов обычно базируются на межскважинной корреляции, которая относительно адекватно отражает первый уровень складчатости, но фактически не способна охарактеризовать важного в практическом отношении второго уровня. Повышение надежности геологических построений возможно путем привлечения результатов определения элементов залегания подсеченных скважинами рудных пластов. Такого рода информация может быть получена с помощью скважинной пластовой наклонометрии, результаты которой содержат информацию о складчатости всех уровней. В данной ситуации наиболее рационально проведение наклонометрии основанной на дифференциации разреза по магнитной восприимчивости. Именно такой принцип положен в основу скважинной пластовой индукционной наклонометрии (СПИН), предложенной профессором МГРИ М.И. Плюсниным и реализованной автором на практике в виде аппаратуры СПИН [43, 44]. Для выделения элементов складчатости первого и второго уровней необходимо подавить маскирующее влияние мелкой складчатости, что может быть осуществлено путем поинтервального осреднения представительного количества определений элементов залегания.



- 1 5475
- 2 5476
- 3 а б
- 4 V
- 5 V
- 6 PR₁ kr₂
- 7 PR₁ kr₁
- 8 PR₁ kr₀
- 9 PR₁ st₂
- 10 PR₁ st₁
- 11 AR₂ ob

В пределах КМА значительный объем индукционной наклонометрии был выполнен на Приоскольском месторождении железистых кварцитов, которое приурочено к юго-восточной замковой части

Салтыково-Александровской грабен-синклинали, сложенной метаморфическими образованиями курской серии нижнего протерозоя и заключенной между блоками архейских кристаллических пород (рис. 30).

Рис. 30. Схематическая геологическая карта южной части Приоскольского месторождения.

1 – разведочные скважины; 2 – скважины, в которых была выполнена индукционная наклонометрия; 3 – геологические границы (а – установленные, б – предполагаемые); 4 – разрывные нарушения; 5 – разведочные профили; 6 – кварцево-сланцевые сланцы курской серии нижнего протерозоя; 7 – магнетитовые и силикатно-магнетитовые кварциты курской серии нижнего протерозоя; 8 – безрудные и слаборудные

магнетит-куммингтонитовые кварциты и сланцы; 9 – слюдисто-кварцевые сланцы стойленской свиты курской серии нижнего протерозоя; 10 – кварцито-песчаники стойленской свиты курской серии нижнего протерозоя; 11 – гранито-гнейсы, гнейсы и плагиограниты обоянской серии нижнего архея

Представляющая существенный геологический интерес информация была получена по результатам наклонометрии, выполненной в скважинах, расположенных на разведочной линии VII+200, которая позволила выявить важные особенности геологического строения южной части Приоскольского месторождения (рис. 31). В частности, материалы индукционной наклонометрии свидетельствуют, что в верхней части разреза геологические структуры имеют выдержанное северо-восточное простирание, однако, начиная с глубин 350-400 м, простирание пластов пересеченных скважинами 5473 и 5475 становится субмеридианальным. Это обстоятельство указывает на то, что замыкание синклинали складки, в ядре которой находится Приоскольское месторождение, происходит именно в области разведочной линии VII+200.

Скважина 5276, являющаяся на месторождении контрольно-градуировочной, информационно обеспечена наилучшим образом – кроме выполненных на керне определений углов встречи скважины с пластами, в процессе её бурения было отобрано 8 образцов ориентированного керна, 3 из которых, из-за отсутствия в них структурных элементов, оказались непригодными для исследования. В этой же скважине с помощью СПИН было определено более 30 элементов залегания отдельных структурных элементов. Несмотря на то, что обычно места определения элементов залегания, выполненных на керне и с помощью СПИН не совпадают, в общем можно говорить о близости полученных обоими способами значений.

Практический опыт свидетельствует, что анализ результатов наклонометрии наиболее рационально осуществлять с использованием сетки Вульфа.

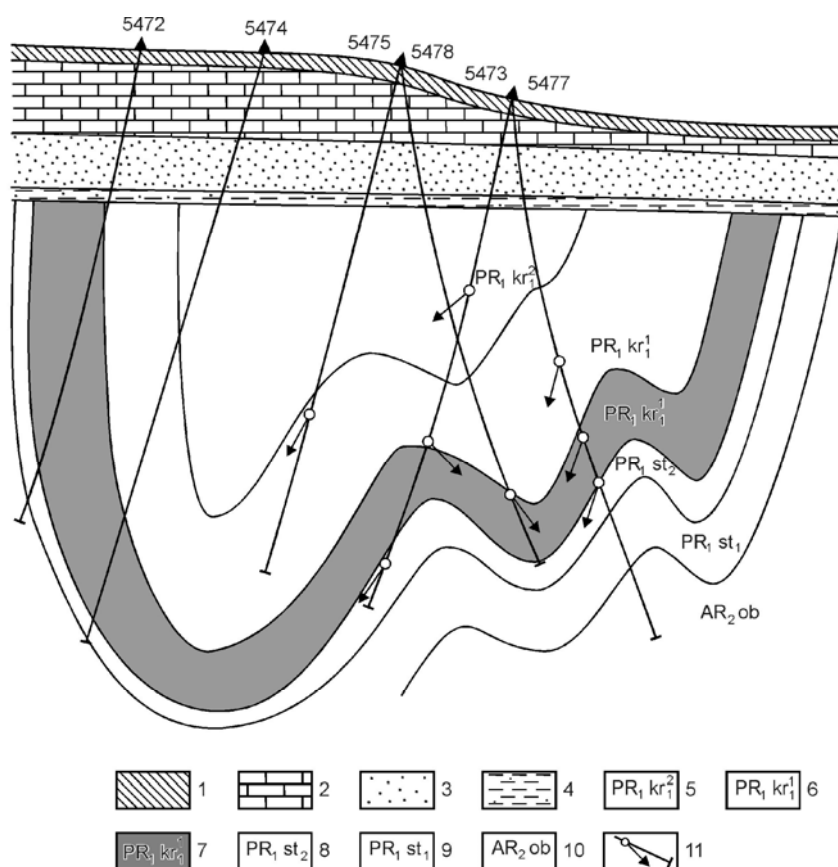


Рис. 31. Геологический разрез по линии VII+200 с нанесенными на него поинтервально осредненными элементами залегания.

1 – четвертичные суглинки; 2 – мергели верхнего мела; 3 – пески нижнего и верхнего мела; 4 – песчаные глины юры; 5 – кварцево-сланцевые сланцы курской серии нижнего протерозоя; 6 – магнетитовые и силикатно-магнетитовые кварциты курской серии; 7 – безрудные и слабрудные магнетит-куммингтонитовые кварциты и сланцы; 8 – слюдино-кварцевые сланцы стойленской свиты курской серии; 9 – кварцито-песчаники стойленской свиты; 10 – гранито-гнейсы, граниты и плагиограниты обоянской серии нижнего архея; 11 – разведочные скважины с нанесенными на них элементами залегания

Результаты индукционной наклонометрии, выполненной в скважинах на разведочных линиях IV+230 и VII+200, позволили уточнить геологическое строение Приоскольского месторождения и были учтены при оценке его запасов. В частности, площадь сечения рудного тела по линии VII+200 после учета результатов наклонометрии изменилась на 5,6 %.

Таблица 1

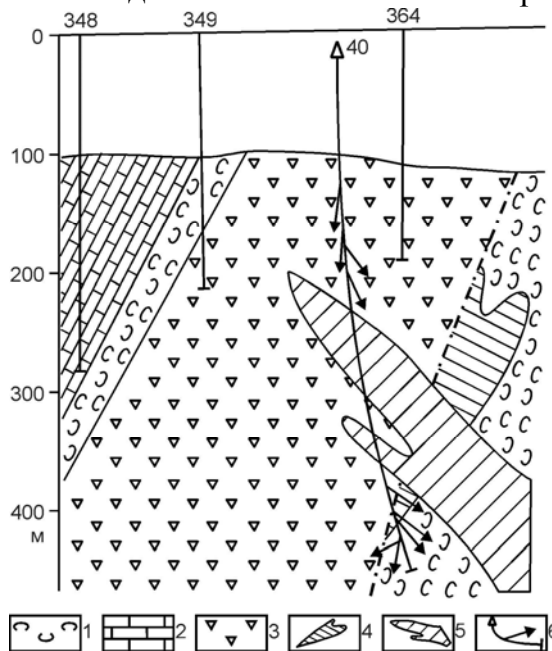
Значительный интерес представляют исследования, выполненные на Сарбайском месторождении Северного Казахстана, где рудные залежи представлены, в основном, пластообразными магнетитовыми телами, залегание которых осложнено разрывными нарушениями и внедрением интрузий. В частности, по одной из скважин в пределах глубин 108,7 – 295,1 м с помощью СПИН было определено залегание 42 контактов магнетитовых руд и вмещающих пород, осреднение которых было выполнено в рамках нескольких интервалов. По той же скважине имеются представительные результаты определения залегания пород с помощью телефотометрического каротажа (ТФМК), основанного на дифференциации пород по светоотражающей способности.

Элементы залегания пород, определенные с помощью ТФМК и СПИН

Интервал осреднения, м	Осредненные элементы залегания, град			
	ТФМК		СПИН	
	угол наклона	азимут падения	угол наклона	азимут падения
133,3 – 134,0	66	294	64	301
147,5 – 157,7	69	289	63	319
166,9 – 167,0	77	214	73	213
176,8 – 191,2	67	315	62	317
270,2 – 294,8	61	273	63	277

Данные ТФМК так же были осреднены в пределах тех же интервалов (табл. 1). Сопоставление осредненных данных свидетельствует о хорошем совпадении результатов определения элементов залегания пород обоими геофизическими методами – их расхождение в среднем не превышает 4° по углу наклона и 7° по азимуту падения.

Важные в практическом плане материалы были получены по другой скважине Сарбайского месторождения, где материалы СПИН позволили установить весьма тонкие детали геологического строения. В частности, в интервале глубин 368,8 – 405,8 м (рис. 32) наблюдается закономерное веерообразное распределение углов наклона рудных пропластков, вплоть до изменения их азимута падения на противоположное, что может быть обусловлено внедрением интрузии.



При этом нижняя часть рудного тела сохранила первоначальное северо-западное падение, но выше по разрезу залегание пласта определила интрузия, "опрокинувшая" эту часть рудного тела по направлению своего внедрения.

Таким образом, результаты скважинной

Рис. 32. Результаты СПИН на Сарбайском месторождении.

1 – туффиты; 2 – карбонатно-глинистые породы; 3 – туфы; 4 – магнетитовые руды; 5 – диоритовая интрузия; 6 – скважина, с нанесенными на нее элементами залегания

пластовой индукционной наклонотрии свидетельствуют в её высокой информативности и надежности в части определения элементов залегания продуктивных интервалов разрезов скважин на магнетитовых месторождениях. Привлечение данных наклонотрии позволяет с большей достоверностью осуществлять структурно-геологические построения на железорудных объектах, при этом для подавления влияния мелкой складчатости, не характеризующей структуру месторождений в целом, полученные элементы залегания, необходимо поинтервально осреднять.

Если на первых этапах исследований данные о магнитной восприимчивости интерпретируемых пластов, которые необходимы для количественной интерпретации материалов наклонотрии, получались путем проведения каротажа магнитной восприимчивости (КМВ), как дополнительной операции, то в последующем аппаратура СПИН была дополнена собственным каналом КМВ, построенным на базе зондового устройства наклонотрии [45]. Такое усовершенствование позволило повысить точность определения элементов залегания пород не менее чем на 10-15 %.

Выполнение КМВ в едином цикле с наклонотрией может иметь и самостоятельное значение, в частности – при опробовании железистых кварцитов.

В железистых кварцитах КМА железо сконцентрировано преимущественно в обладающем аномально высокой магнитной восприимчивостью магнетите, поэтому их опробование целесообразно выполнять по результатам каротажа магнитной восприимчивости (КМВ). Точность определения содержания железа магнетитового по данным КМВ не уступает химическим анализам, при этом среднеквадратическое расхождение между результатами геофизического и химического опробования обычно не превышает 2,5 % абс.

Многочисленные исследования свидетельствуют, что универсального выражения, описывающего связь между магнитной восприимчивостью пород и руд и содержанием в них магнетита, не существует. Вместе с тем, практическое применение КМВ показывает, что в пределах одного месторождения или отдельных его участков наблюдается тесная корреляционная связь между содержанием железа магнетитового в рудах и их магнитной восприимчивостью.

Корреляционная зависимость между магнитной восприимчивостью χ и содержанием магнетитового железа Fe_M нелинейна – она выполаживается в области высоких значений χ . Кроме того, аналитическое выражение зависимости часто имеет вид: $Fe_M = a + b \chi + \dots + c \chi^n$ (т.е. содержит свободный член), что может быть объяснено влиянием проводимости магнетитовых руд. Известно, что проводимость магнетита может достигать $10^2 - 10^3$ См/м. В пределах отдельных магнетитовых прослоек, зерна магнетита составляют единую электропроводную матрицу очень низкого удельного электрического сопротивления. Фаза магнитного поля вихревых токов, индуцируемых в очень хорошо проводящих объектах такова, что ЭДС в приемной катушке зонда КМВ, обязанная своим появлением вихревым токам, направлена против ЭДС, обусловленной влиянием магнитной восприимчивости, и занижает ее величину. На практике, подавляющая часть используемых для построения корреляционной зависимости $Fe_M = f(\chi)$ данных, соответствует интервалам разреза с высоким содержанием магнетита, имеющим высокие значения не только магнитной восприимчивости, но и проводимости, что и сказывается на характере корреляционной зависимости.

Не менее важен вопрос о влиянии на результаты геофизического опробования железистых кварцитов анизотропии их физических свойств. Данные исследований свидетельствуют, что анизотропия магнитной восприимчивости оказывает влияние на результаты КМВ с любым типом зонда. В зависимости от ориентировки зондового

устройства относительно слоистости, эффективная магнитная проницаемость $\mu_{\text{эф}}$ будет изменяться от $\mu_{\text{эф}} = (\mu_{\tau} \mu_{\text{n}})^{1/2}$ до $\mu_{\text{эф}} = \mu_{\tau}$, где μ_{τ} и μ_{n} – магнитные проницаемости соответственно вдоль и вкрест слоистости (В.А. Мейер, 1981). При больших значениях магнитной анизотропии $\lambda = \mu_{\tau} / \mu_{\text{n}}$, (достигающим 2-3 и более единиц), этим крайним случаям будут отвечать существенно различающиеся значения $\mu_{\text{эф}}$.

В данном контексте важно отметить, что железистым кварцитам свойственна анизотропия электромагнитных свойств *в целом*, а не только одной лишь магнитной восприимчивости. С практической точки зрения, это означает, что, если железистые кварциты пересекаются скважиной по нормали к их слоистости, то их кажущаяся магнитная восприимчивость будет существенно меньше, чем в случае, когда они пересекаются скважиной параллельно слоистости. Причем в этом проявляется влияние двух факторов – с одной стороны, в данной ситуации силовые линии магнитного поля зондового устройства КМВ пересекают слоистость преимущественно по нормали, а при такой ориентировке намагничивающего поля эффективная магнитная восприимчивость железистых кварцитов минимальна. С другой стороны, показания аппаратуры КМВ еще более занижает высокая проводимость пород, влияние которой, при подобной взаимной ориентировке электрической составляющей электромагнитного поля и слоистости, оказывается максимальным.

Таким образом, *привлечение информации об элементах залегания пластов железистых кварцитов способно повысить точность опробования на магнетитовое железо по данным КМВ за счет учета ориентировки слоистости железистых кварцитов.*

К наиболее важным результатам выполненной работы можно отнести то, что:

– разработана классификация геофизических методов исследований в скважинах, позволяющая систематизировать не только методы каротажа, но и методы скважинной геофизики;

– показано, что наиболее полная и геологически эффективная реализация геолого-геофизической информации, полученной по результатам исследований скважин, достигается путем формирования трехмерных структурно-геологических, геофизических и иных моделей геологических объектов. Разработана система компьютерного трехмерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР, позволяющая выполнять компьютерный анализ пространственного распределения данных геолого-геофизических исследований скважин и создавать объёмные модели геологических сред;

– доказано, что в осадочной части разреза Воронежской антеклизы присутствуют геологические объекты, имеющие достаточно высокую намагниченность и способные создавать весьма интенсивные наземные аномалии магнитного поля. Это обстоятельство требует, при заверке наземных аномалий магнитного поля, выполнения скважинной магниторазведки и каротажа магнитной восприимчивости, в том числе и в пределах осадочного чехла;

– разработана технология детальной корреляции осадочных разрезов, выполняемой по материалам геофизических исследований скважин, которая позволяет не только надежнее осуществлять данную операцию, но и дает возможность определять условия осадконакопления коррелируемых отложений и выявлять воздействие на них различных постседиментационных процессов эпигенетического характера;

– на основе анализа возможностей повышения геологической эффективности ГИС сформулированы конкретные предложения по оптимизации технологий выполнения геофизических исследований в скважинах, а также повышению геологической эффективности интерпретации получаемых материалов, направленные на решение задач, типичных для закрытых территорий;

– разработана технология анализа распределения геофизических параметров вскрытых скважинами разрезов и увязки продуктивных подсечений в трехмерном пространстве, позволяющая повысить достоверность геометризации рудных объектов, имеющих сложное геологическое строение;

– показано, что при поисках и разведке рудных объектов, аналогичных месторождениям никеля Воронежской антеклизы, наиболее эффективны методы скважинной электроразведки, выполняемой при поисковых работах в варианте скважина-поверхность, а при детализации строения рудных зон и отдельных рудных тел – в межскважинном и односкважинном вариантах и вариантах поверхность-скважина и скважина-поверхность;

– разработаны технология построения траекторий скважин, позволяющая повысить точность реализации данных инклинометрии, и программный модуль Zenith 1.2, построенный с использованием данной методики;

– показано, что повышение достоверности структурно-геологических построений на железорудных магнетитовых месторождениях может быть достигнуто применением скважинной пластовой индукционной наклонометрии по магнитной восприимчивости;

– разработана технология обработки данных, характеризующих залегание пород на железорудных месторождениях, позволяющая подавить влияние мелкой складчатости и выявить параметры, отражающие структуру месторождений в целом;

– разработана технология проведения индукционной наклонометрии в едином измерительном цикле с каротажем магнитной восприимчивости, которая реализована в разработанной автором аппаратуре СПИН;

– предложены аппаратурно-методические решения, позволяющие за счет учета проводимости и анизотропии электромагнитных свойств железистых кварцитов повысить точность их геофизического опробования на магнетитовое железо;

– в результате выполненных исследований, выявлены важные особенности геологического строения и структурной приуроченности ряда месторождений и рудопроявлений никеля, что позволило, в том числе, уточнить их промышленную перспективность и конкретизировать направления дальнейших поисково-разведочных работ.

Список основных публикаций автора по теме диссертации

Монографии:

1. Аузин А.А., Слюсарев С.В. Геофизические методы поисков объектов коренной алмазности при проведении геологического доизучения территории Воронежской антеклизы. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 2006. – 97 с.

2. Аузин А.А. Комплексирование методов геофизических исследований в скважинах (на примере Воронежской антеклизы). – Воронеж : Изд-во "Научная книга", 2010. – 260 с.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

3. Аузин А.А. Изучение строения железорудных месторождений с помощью скважинной наклонметрии / Разведка и охрана недр. – 1986. – № 12. – С. 53 – 54.
4. Аузин А.А., Глазнев В.В. Объемные цифровые модели геологических объектов и некоторые проблемы их создания / Геофизика. – М.: – 2000, – №5. – С. 40 – 43.
5. Аузин А.А., Глазнев В.В. Построение траекторий искривленных скважин / НТВ "Каротажник". – Тверь: Изд-во ГЕРС. 2000. – Вып. 74. – С. 61 – 68.
6. Аузин А.А., Глазнев В.В. Современная технология проектирования и построения траекторий скважин наклонно-направленного бурения / Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2000. – № 3 (9). – С. 249 – 251.
7. Аузин А.А., Глазнев В.В. Разработка трехмерных компьютерных моделей геологических сред / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – № 5 (10). 2000. – С. 177 – 182.
8. Аузин А.А., Глазнев В.В. Компьютерное геолого-математическое моделирование: проблемы и возможности / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 2001. – № 6 (11). – С. 199 – 204.
9. Аузин А.А., Глазнев В.В. Объемное компьютерное моделирование рудных объектов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 2001. – № 12. – С. 177 – 184.
10. Аузин А.А., Глазнев В.В. Трехмерное компьютерное моделирование при геологическом доизучении площадей (ГДП-200) / Геоинформатика. – 2001. – № 1. – С. 35 – 41.
11. Аузин А.А. Использование материалов каротажа для уточнения строения и корреляции разрезов структурно-поисковых скважин Ржаксинской площади (юго-восток Тамбовской обл.) // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия: геология. – 2002. – № 1. – С. 272 – 275.
12. Аузин А.А., Глазнев В.В. Формирование объемных моделей рудных объектов на основе геолого-геофизических данных / Геофизика. – 2003. – № 3. – С. 51–57.
13. Аузин А.А. Геофизические исследования в скважинах: вопросы терминологии и классификации / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 2005. – № 1. – С. 216 – 221.
14. Аузин А.А. О возможности локализации источников наземных аномалий магнитного поля в осадочном чехле Воронежской антеклизы / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 2006. – № 1. – С. 216 – 218.
15. Аузин А.А. Аппаратурно-методические возможности повышения эффективности скважинной магниторазведки при поисках кимберлитовых трубок / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 2006. – № 1. – С. 134 – 141.
16. Аузин А.А. О геологической результативности геофизических исследований в скважинах при поисках и разведке месторождений никеля на Воронежском кристаллическом массиве (часть 1 – методы каротажа) / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 2008. – № 1. – С. 127 – 133.
17. Аузин А.А. О геологической результативности геофизических исследований в скважинах при поисках и разведке месторождений никеля на Воронежском кристаллическом массиве (часть 2 – методы скважинной геофизики) / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 2008. – № 2. – С. 143 – 156.
18. Аузин А.А., Муравина О.М. Статистический анализ данных каротажа методом группового учета аргументов / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – №2. 2010. – С. 219 – 224.

Другие публикации:

19. Аузин А.А., Плюснин М.И. Возможности скважинной пластовой наклонометрии на железорудных месторождениях / В кн. : Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных полезных ископаемых. – Свердловск: Изд-во СГИ. 1983. – С. 91 – 94.
20. Аузин А.А. Скважинный индукционный пластовый наклономер для исследования железорудных месторождений / Геофизическая аппаратура. – Л. : Недра, 1984. – Вып. 79. – С. 95 – 98.
21. Аузин А.А., Батанова Л.Ф., Горелова Н.А. Применение индукционной наклонометрии для определения залегания пород на железорудных месторождениях Северного Казахстана / В кн. : Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. – Вып. 9, – Свердловск : Изд-во СГИ, 1991. – С. 82–86.
22. Аузин А.А. Опыт интерпретации материалов скважинной магниторазведки на Елкинском месторождении никеля / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1996. – № 1. – С. 188 – 191.
23. Аузин А.А. Некоторые результаты применения индукционной наклонометрии для определения залегания пород на Ломоносовском месторождении Северного Казахстана / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1996. – № 2. – С. 187 – 189.
24. Аузин А.А. Влияние вращения скважинных приборов на результаты исследований / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1997. – № 4. – С. 193 – 194.
25. Аузин А.А. Влияние структуры пород на их удельную проводимость / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1998. – № 5. – С. 195 – 198.
26. Аузин А.А., Глазнев В.В. Некоторые проблемы реализации данных инклинометрии скважин / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1998. – № 5. – С. 241 – 243.
27. Аузин А.А. Современные представления о природе магнетизма и их отражение в теории и практике скважинной магнитометрии / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1998. – № 6. – С. 160 – 167.
28. Аузин А.А. Повышение эффективности геофизических исследований в гидрогеологических скважинах в условиях Центрально-Черноземного региона / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1999. – № 7. – С. 196 – 201.
29. Аузин А.А. Геотермические исследования в скважине 11/89 на учебном геофизическом полигоне Веневитиново / Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. – 1999. – № 8. – С. 192 – 194.
30. Аузин А.А., Бабкин В.Ф. Корреляция отложений турнейского яруса по данным геофизических исследований в скважинах / Геологический вестник центральных районов. – М. : 2000. – № 2. – С. 13 – 17.
31. Аузин А.А. Геофизические исследования в скважинах при изучении осадочных разрезов Воронежской антеклизы / В кн.: Проблемы литологии, минералогии и стратиграфии осадочных образований Воронежской антеклизы. Труды НИИ геологии ВГУ. – Вып. 11. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 2002. – С. 55-63.

Материалы и тезисы международных конференций и семинаров:

32. Изучение залегания пород с помощью электромагнитных исследований в скважинах // Тезисы докладов на международной геофизической конференции "Электромагнитные исследования с контролируруемыми источниками". Санкт-Петербург. 1996.

33. Компьютерное моделирование горизонтальнослоистых геологических объектов // Тезисы докладов на международной конференции "Геофизика-99" Санкт-Петербург. 1999. Соавтор: Глазнев В.В.

34. Компьютеризированная технология проектирования скважин наклонно-направленного бурения // Тезисы докладов на международной геофизической конференции "300 лет горно-геологической службе России". Санкт-Петербург. 2000. Соавтор: Глазнев В.В.

35. Трехмерное компьютерное моделирование геологических объектов при геологическом картировании // Сб. тезисов докладов на V международной конференции "Новые идеи в науках о Земле". Москва. 2001. Соавтор: Глазнев В.В.

36. Компьютерная технология проектирования и построения траекторий наклонно-направленных скважин // Сб. тезисов докладов на V международной конференции "Новые идеи в науках о Земле". Москва. 2001. Соавтор: Глазнев В.В.

37. Использование трехмерного компьютерного моделирования при изучении различных геологических объектов // Материалы международной конференции "Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов". Воронеж. 2001. Соавтор: Глазнев В.В.

38. Разработка технологии геологического картирования на основе формирования объемных компьютерных моделей геологических сред // Материалы международной конференции "Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы" Воронеж. 2002. Соавтор: Глазнев В.В.

39. Геологическая эффективность геофизических исследований в скважинах при поисках и разведке месторождений никеля на Воронежском кристаллическом массиве // Материалы международной конференции "Месторождения природного и техногенного сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поисков, экологическая геология". Воронеж. 2008.

40. Возможность "осадочной" природы наземных аномалий магнитного поля в пределах Воронежской антеклизы // Материалы 39-ой сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского "Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей". Воронеж. 2012.

41. Компьютерная технология корреляции рудных разрезов // Материалы 39-ой сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского "Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей". Воронеж. 2012.

42. Возможности метода группового учета аргументов при анализе геофизических данных // Материалы 39-ой сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского "Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей". Воронеж. 2012. Соавтор: Муравина О.М.

Авторские свидетельства на изобретения:

43. Устройство для определения угла наклона горных пород : а. с. 890338 СССР : МКИ G 01 v 3/18 / М.И. Плюснин, А.А. Аузин, И.А. Мараев (СССР). – 1981, Бюлл. № 46, 1982.

44. Устройство для определения ориентировки геофизических приборов относительно плоскости искривления скважины : а. с. 1035553 СССР : МКИ G 01 v 9/00 / А.А. Аузин, А.К. Аузин (СССР). – 1983, Бюлл. № 30, 1983.

45. Устройство для каротажа магнитной восприимчивости : а. с. 4380200 СССР : МКИ G 01 v 3/18 / А.А. Аузин, А.К. Аузин (СССР). – 1987, Бюлл. № 30, 1988.