УДК 550.83

О МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОПОЛЕЙ

А. М. Виноградов, В. М. Сапожников

Показано, что теория и практика описания и интерпретации физических и других полей в геологии используют сложившиеся главные методологические установки. Они раскрывают качественные и количественные признаки объекта и предмета исследований. Системное единство этих установок открывает подходы и перспективы создания общего алгоритма интерпретации геополей.

Ключевые слова: *геофизика; геология; поля; интерпретация; систематика; методология; формализация; алгоритмизация.*

В последние десятилетия внимание специалистов привлекает проблема создания единой теории интерпретации геофизических полей. Однако, несмотря на фундаментальный сдвиг в возможностях современного программно-математического обеспечения исследований, даже общие кардинальные подходы к решению проблемы разработаны еще недостаточно. Продуктивные решения частных задач для конкретных условий являются предпосылками достижения поставленных целей – и этим пока довольствуется геофизическая практика. Очевидно, что при решении прежде всего трудноформализуемых задач должны сочетаться методологическая, теоретическая и программно-алгоритмическая стороны описания вещественных и энергетических полей. Исполнители работ принимают ту или иную концептуальную установку, вносят свои коррективы в нее и, как правило, процедуры своих подходов оставляют в подтексте. Однако целесообразно по возможности раскрывать эти подходы в контексте разделов о методиках исследований.

Например, в нашей практике отмеченное заключается в применении блок-схемы геологической интерпретации вещественных и энергетических полей. Предлагаемая методика на стадии завершенного НИР рекомендована для использования в программном обеспечении отечественных компьютеризированных многозондовых каротажных станций в системе «ГИС-Руда», что позволило однотипно подходить к решению различных геологических задач. В зависимости от сложности задач и требований к конечному результату в ней превалируют качественные или количественные решения. Соблюдается главный системный принцип – стремиться сложные задачи решать просто, простые – полно. При этом привлекаются различные частные программы, не противоречащие общему устремлению в интерпретации по принятой блок-схеме. В конечном итоге, с методологических позиций процесс интерпретации сводится к саморазвитию диалога интерпретатора с исходными материалами и получаемыми результатами с использованием частных программных средств.

В данной статье ограничимся сжатой систематикой сложившихся методологических установок в интерпретации полей различной природы (геофизических, геохимических, минералогических, геоморфологических и т. д.), которые могут быть положены в основу конструкции общего алгоритма (рис. 1).

Количественные и качественные способы интерпретации. Опыт применения методов геофизики показывает, что интерпретация полей фактически является технологической операцией, обеспечивающей принятие решений в процессе геологоразведочных работ. При этом предмет изучения рассматривается как материальный носитель цели, а метод оперирует с геополем – «пространством объекта исследований, каждой точке которого может быть поставлено в соответствие определенное значение какой-либо характеристики» [1–3], отражая различные стороны предмета через его модели. Тогда для всестороннего из-

учения предмета требуется набор (комплекс) геополей. Однако применение этого набора и соответствующих ему моделей создает свои проблемы, связанные с выделением и соединением частных моделей в предметном образе данной цели.

Отмеченные соотношения предмета, цели, метода ее достижения детально рассматриваются при изучении познавательной деятельности и в частности наиболее успешно реализуются средствами общей теории систем [4, 5]. Однако в каждой области эти средства приобретают самостоятельное выражение, связанное с решением конкретных задач и преодолением конкретных трудностей, возникающих при их решении. В данной работе это относится к развивающейся общей теории интерпретации физических полей [6–9].

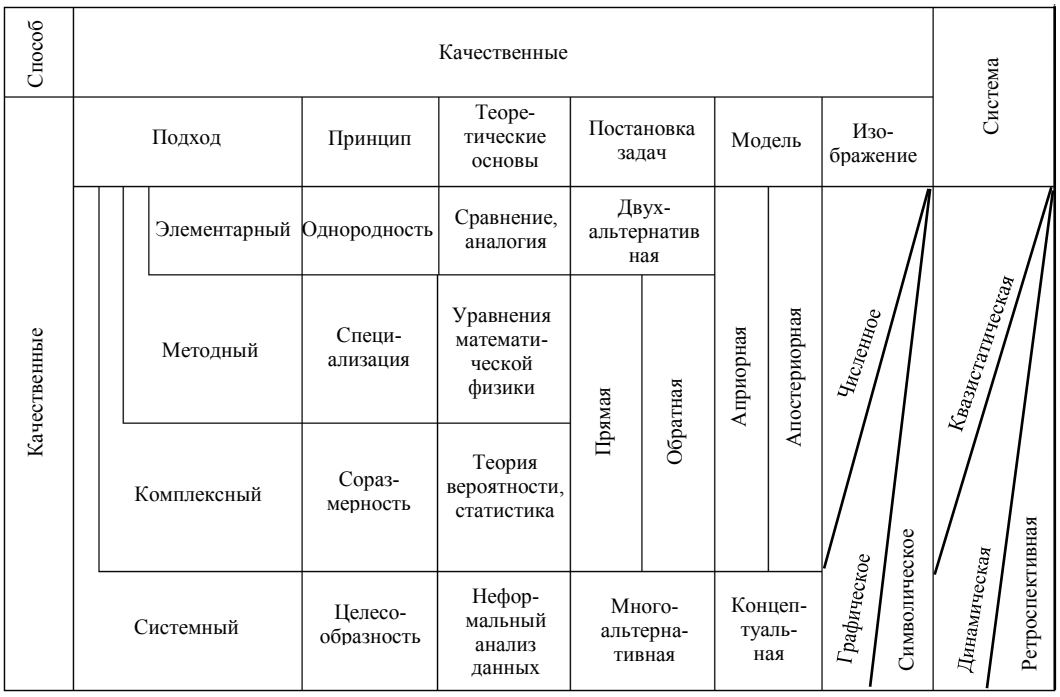

Рис. 1. Систематика методологических установок интерпретации геополей

В основу систематики можно однозначно положить качественные и количественные способы. Они применяются с момента зарождения геофизики, хотя разграничение их условно. Однако в конкретных условиях, например в первый период поисков колчеданных месторождений, преобладала качественная интерпретация. При ней происходит рецептивное восприятие геополей в связи с некоторыми характеристиками объекта или объектом в целом. Качественная интерпретация выражается через описание полей и изображение их контуров в сопоставлении с образами явлений, известными из накопленного опыта, а также из результатов физического или математического моделирования. Так, в методе изолиний – ведущем методе поисков в процессе становлении рудной геофизики – при наблюдениях не ставилось целью определение численных значений напряженности электрического поля. При интерпретации же производилась качественная реконструкция направлений течения тока в сравнении с моделью, установленной для разнообразных ситуаций [10]. Этого было достаточно для выделения осей распределения электрических неоднородностей на плане изолиний потенциала. Подобный подход присутствует при решении других, порой достаточно сложных задач. В настоящее время мог реализовываться подход на исключение нормальной составляющей поля и вычисление аномального поля, более удобного для решения вопросов о природе неоднородностей изучаемого массива пород. Метод изолиний уже не применяется, но отмеченный подход успешно реализован в методе заряда [11].

Дальнейшее развитие качественной интерпретации связано с использованием метода распознавания образов, в том числе при

прогнозировании колчеданных месторождений [5, 12]. Геофизические исследования, опережая геологическое изучение объекта, не могли дать ответ на вопрос о природе разнообразного распределения геополей в районе известных месторождений и за их пределами. Поэтому было принято решение «на основании изучения материалов по известным объектам относить проявление аномальных признаков к одному из объектов установленной системы классов» [12]. Далее на основании выбора и ранжирования признаков геополей в районе известных месторождений формировалось решающее правило. Таким образом, в автоматическом режиме изучалась вся исследуемая площадь с выделением прогнозных участков по степени соответствия образу известного объекта.

В настоящее время качественная интерпретация приобретает научное обоснование и рассматривается с позиции теории анализа данных при автоматизированной обработке. Суть ее сводится к привлечению и развитию интуиции при формировании решений в области, где традиционные методы оказываются бессильными. Зачастую это вызвано трудностями формализованного описания объекта в сложившихся стереотипах понятий и гипотез. Парадоксальным в рассматриваемом случае является то, что цель может быть достигнута при качественной интерпретации посредством менее полных, достоверных и точных результатов, чем это необходимо с применением количественной интерпретации.

В конечном итоге качественная интерпретация геополей охватывает весь исторически сложившийся арсенал способов и приемов. Они обеспечивают решение поставленных задач от принципов «ищи руду около руды» и «ищи руду по аномалиям геополей» до современной научной парадигмы [8]: формализация + системный подход + критерий оптимальности + автоматизация, в которой качественные и количественные стороны интерпретации уже фактически сливаются.

Если качественная интерпретация предполагает неформализованное численное, знаковое или языковое описание, то количественная интерпретация ставит задачу формализовать описание объекта с заданной точностью, полнотой и достоверностью. Последнее обеспечивается теоретически обоснованными операциями, определяющими положение и свойства объекта, а также отношения с объектами иного рода. Таким образом, различия между качественными и количественными способами интерпретации сглаживаются по мере совершенствования принципов и подходов, использованных при формализованном описании геополей, но эта проблема требует дальнейшего методологического обоснования.

Принципы и подходы. Анализируя сложившуюся практику интерпретации геополей, можно выделить в ней элементы, согласующиеся с установками [3] общей теории систем (ОТС). Наиболее четко они раскрываются при обосновании методологии тектонического картирования [13] в виде принципов однородности, специализации, соразмерности и целесообразности. В познавательном процессе приоритет каждой из установок или их сочетаний определяет специфику описания геополей, среди которых выделяются элементарный и комплексный, методный и системный подходы. Принцип однородности-элементарности отвечает общему элементарному подходу к интерпретации. Он предусматривает выделение в системе неделимых элементов. Из этих элементов строятся качественные и количественные описания полей (характерные точки, осредненные и интегральные значения каких-либо параметров, например аномалий комплекса методов и т. д.), и на этой основе устанавливается характеристика (кромки, границы, центры и т. д.) модели предмета исследований. При элементарном подходе решаются частные задачи интерпретации с определением отдельных характеристик геополей и согласованных с ними характеристик предмета исследований. Элементарный подход широко используется при обработке геофизической информации [7].

Принцип специализации – отношения связи между элементами, скрепляющими их в единое целое, – выступает в качестве руководящего в методном подходе. Результаты интерпретации представляются в виде модели, специализированной относительно некоторого свойства (плотности, магнитности, содержания меди, количества темноцветных минералов и др.). Такая модель

дает одностороннее отражение предмета. В одних случаях она согласуется с предметом исследований, в других – фиксирует некоторый элемент предмета (простирание, выход на эрозионный срез, избыточную плотность и др.) или отражает совместное влияние структурных элементов среды, не решая поставленной перед интерпретацией целевой задачи. Методный подход в интерпретации разработан в специальных курсах геофизики и других наук, изучающих геополя.

Принцип соразмерности – условие, ограничивающее отношения единства элементов, является ведущим в комплексном подходе к интерпретации. Ю. А. Косыгин определяет принцип соразмерности как руководящий при тектоническом районировании с точки зрения необходимости сопоставления размеров геологических тел в связи с их составом и строением, особенностями истории формирования и развития. При сопоставимости размеров неделимых элементов разных специализаций используются методы распознавания образов, производится классификация геологических моделей, сформированных по признакам и характеристикам геополей. В основу комплексной интерпретации в геофизике положена физико-геологическая модель, которая разносторонне описывает геологический объект. Подобная модель может быть сформирована для разных специализированных комплексов исследований, эффективных при достижении различных геологических целей.

Принцип целесообразности – неизбежная принадлежность любой из систем связанных элементов хотя бы к одной системе, имеющей отношение к познавательно значимой цели, является признаком системного подхода к интерпретации геополей. Для пояснения принципа уместно привести рассуждения Ю. А. Косыгина: «Принцип целесообразности применительно к описанию заключается в выборе таких структурных и вещественных признаков, которые наиболее существенны для характеристики структурных элементов в соответствии с принятыми целями исследований… Если карта представляет собой основу для поисков рудных месторождений, то важно показать местонахождение массивов изверженных пород различного формационного типа и рудной специализации, расположение глубинных разломов, древние эруптивные аппараты, рудные и рудоносные формации и т. д.» [13]. Таким образом, при системном подходе формируемые модели должны объединяться в такие композиции, которые наиболее полно согласуются с принятой геологической концепцией или увязывают эту концепцию с логически непротиворечивыми реконструкциями, направленными на достижение поставленной цели.

Теоретические основы интерпретации, постановка и решение задачи. Интерпретация геополей – это сложный многоступенчатый процесс с прямыми и обратными связями достигнутых результатов, с простыми и сложными способами решений, с различным аппаратом и уровнем теоретического обоснования формальных и неформальных процедур. Каждый подход к интерпретации имеет свой арсенал теоретических средств.

Элементарный подход исходит из сравнения и аналогии. Сравнение – это процедура интерпретации, основанная на установлении сходства и различия геополей по отдельным характеристикам или их сочетаниям и установлении их соответствия предметному содержанию цели или ее характеристикам. Сравнение оперирует формализованными или неформализованными понятиями «больше–меньше», «совпадает–расходится», «точно–приблизительно», «достоверно», «полно и наоборот» и другими. Так, во многих случаях при выделении перспективных аномалий необходимо, а порой и достаточно пространственное совпадение положительных гравитационных аномалий и аномалий электропроводности. Сравнение как основа классификационных приемов – также немаловажная операция при интерпретации. Например, по интенсивности аномалии силы тяжести при прочих равных условиях выделяют группу аномалий однозначно рудной природы. Важным направлением применения сравнения при интерпретации является установление некоторой объективной общности явлений с выявлением наиболее существенных характеристик, признаков и свойств объектов. Этот вопрос связан с одной из наиболее сложных и слабо разработанных проблем в геологии – формализацией описания геологических тел и геологических полей [14].

Аналогия при интерпретации геополей предусматривает установление сходства меж-

ду явлениями и на этой основе интуитивное или логическое построение гипотез и теорий об их содержании. Сходство раскрывается через упорядоченность геометрических характеристик [6]. Упорядоченность для вещества выражается через геологические тела, а для геополей – через их очертания-контуры. Образное восприятие аналогии одного с другим осуществляется через общность с третьим – признаками сравнения. Таковыми являются: локальность, симметричность, зональность, направленность, асимметричность изучаемых тел и отвечающих им контуров геополей. В качественной интерпретации эти признаки являются руководящими при выделении и описании объекта, формировании логически непротиворечивых выводов о наблюдаемых явлениях и решениях, направленных на достижение цели. Существуют автоматизированные процедуры, формализующие выделение и прослеживание признаков объекта в сопоставлении их с предметом изучения. Так, иерархия локальных неоднородностей гравиполей устанавливается при составлении карт остаточных аномалий с разными параметрами процедур преобразования исходного поля. Она приводит к выделению иерархии локальных неоднородностей в структуре распределения плотностей. Специальные процедуры преобразований выполняются при изучении направленности составляющих геополей. Заслуживает внимания разработка способов преобразований, раскрывающих зональность, симметричность, асимметричность составляющих полей. Аналогия – важная исходная посылка в интерпретации при установлении соотношений упорядоченности геополей и сопоставляемых с ними структур вещественных элементов предмета исследований.

Теоретические начала методного подхода в интерпретации заложены в решениях дифференциальных уравнений Лапласа, Пуассона, уравнениях колебательных явлений и теплопроводности, предлагаемых математической физикой [6]. Каждое из этих уравнений имеет бесконечное множество частных решений. Поэтому выбор необходимого решения производится, исходя из поставленных целевых задач, а единственность решения обеспечивается конкретным заданием характеристик непротиворечиво с возможностями математического описания признаков, отражающих модель в физических полях. Модели отмеченной и других специализаций исходят как из детерминированной сущности изучаемых явлений, так и с позиции вероятностной реализации ожидаемых событий. В последнем случае используется аппарат теории вероятностей и математической статистики. Этот же аппарат используется при комплексной интерпретации геополей.

Системное единство разнообразных теоретических начал в интерпретации в конечном итоге определяется решением методологической проблемы в геологии – выделение объекта исследований и его соотношений с предметной сущностью цели. Отмеченная научная проблема лишь в последние десятилетия получила разностороннее рассмотрение. Как следствие, она нашла отражение в области теоретического развития интерпретации геополей. В частности, она рассматривается с позиции теории неформального анализа, «учитывающей особенности человеческого восприятия данных» [15].

В настоящее время сложилась определенная система постановки задач в интерпретации. С самых общих позиций она сводится к дву- и многоальтернативной, прямой и обратной задачам. Двуальтернативная постановка обычна для элементарного подхода рассматриваемой систематики. При этом поля делятся на две составляющие (аномалия – фон, полезная часть – помеха), а процедура интерпретации подбирается таким образом, чтобы поставить в соответствие объекту характеристики свойств предмета, обеспечивающие достижение цели. Двуальтернативная постановка задач, например, связана с прямыми поисками рудных тел. Многоальтернативная – получила развитие при использовании геофизики для целей картирования и решении задач прогнозирования и поисков. Она предъявляет к процедурам обработки, интерпретации и оформлению результатов определённые требования. Так, поля кажущихся сопротивлений по данным электропрофилирования избирательно используются для выделения направленных зон полей, связанных с разрывными нарушениями, зональных структур полей, отвечающих зонам метасоматоза. С учётом этих построений намечаются локальные аномалии, перспективные на выявление рудных тел. Та-

ким образом, двухальтернативная постановка задач связана с оптимальным, а многоальтернативная – с рациональным процессом работ.

В теории интерпретации геополей любой специализации обычно рассматриваются две стороны поставленной задачи – прямая и обратная. При прямой – каждому формализованному описанию распределения структуры свойств вещества однозначно соответствует формализовано описанная структура характеристик геополей. При обратной постановке задачи любой формально описанной структуре характеристик геополей отвечает некоторое множество формально описанных ситуаций распределения характеристик свойств вещества. Это множество регламентируется соразмерностью контуров рассматриваемой структуры характеристик геополей, поставленной в соответствие к структуре характеристик свойств вещества. Из отмеченного логичен вывод о сужении неоднозначности решений обратной задачи при совместном рассмотрении комплекса геополей. Однако следует подчеркнуть, что для этого требуется выделить в рассматриваемом контуре набор сопоставляемых между собой характеристик геополей различной природы.

Модель, изображение и интерпретационные системы. Интерпретация геополей является технологической операцией процесса изучения геологического пространства. Модель же выступает в качестве фиксированного результата, достигнутого этим процессом. С учётом отмеченного выделяются три группы моделей: априорная, апостериорная и концептуальная.

Априорная – это исходная обобщенная модель геополей и связанной с ними структуры геологических тел, сформированная на предыдущем этапе геологоразведочного процесса, либо экспериментально или теоретически выделенная в результате решения прямой задачи с использованием известных или предполагаемых характеристик свойств вещества изучаемого геологического пространства.

Апостериорная модель – это модель конкретной наблюдаемой ситуации, согласованная с априорной общностью ожидаемых и выявленных характеристик полей и свойств вещества.

Модели, приведённые в соответствие с принятой руководящей теорией или гипотезой, относятся к классу концептуальных. Они формируются из неделимых элементарных моделей или их частных композиций. Такие модели часто имеют различные иерархические уровни организации составных элементов и сквозных элементов, охватывающих разные уровни, скрепляющие иерархии моделей в единую концепцию. Для каждого уровня иерархии строятся априорные модели, согласованные с концепцией, отклонение же апостериорной модели от априорной на каком-либо этапе интерпретации приводит к её уточнению. Когда же априорные сквозные модели не согласуются с апостериорными, происходит изменение или отклонение принятой геологической концепции. В настоящее время разработаны концептуальные модели при поисках различных типов месторождений. Они в наиболее завершенной форме отражают системный подход к интерпретации геополей.

Достаточно существенным в оформлении результатов интерпретации, представляемых через модели различного содержания, является их изображение. Это самостоятельная важная операция, имеющая свою теорию и технологию. Однако она методологически связана с содержательной стороной интерпретации и предъявляет к ее результатам определенные требования. Главное из них – это минимально возможное количество знаков и согласованность этих знаков с общей системой формирования изображения.

Обычны числовые, графические и символические изображения. Однако при их формировании в геологии еще не найден общий подход. Поэтому каждая статья, монография или другая работа сопровождаются своим набором изобразительных средств, поясняемых в условных обозначениях или в заголовках программ. Такой не оптимальный подход связан не столько с техникой изображения, сколько с отсутствием терминологического и понятийного единства при описании явлений, имеющих место в формирующейся общей теории интерпретации геополей.

Изложенная систематика установок интерпретации геополей относится к области квазистатических систем в геологии [16]. В этой системе геологическое время является фиксированным, а процедуры интерпрета-

ции и оформления их результатов касаются выяснения пространственных соотношений элементов геополей и свойств вещества. Однако осмысливание полученных результатов невозможно без обращения к динамическим и ретроспективным системам геологии. С другой стороны, квазистатическая система является отправным элементом для прогнозирования геодинамики современных явлений и ретроспективного обращения в геологическое прошлое для выявления элементов, роль которых для практических целей через квазистатические построения установить невозможно. Так, радиальные и кольцевые структуры гравимагнитных полей, выделяемые в районе развития вулканогенных пород на Южном Урале, с учетом данных по современным вулканическим областям удалось увязать с кальдерной палеотектоникой, а это позволило выйти на геофизические признаки прогнозирования рудовмещающих структур. Ранее отмеченные и другие многочисленные примеры из нашей практики и практики других работ указывают на формирование нового направления в интерпретации геополей – системного подхода [17].

Рассмотренная систематика методологических установок интерпретации геополей показывает на общность каждой из них, а это является предпосылкой для обоснования общего алгоритма системной интерпретации геополей, рассматриваемой в качестве технологической операции геологоразведочного процесса. Возможная версия такого алгоритма и проблемы геометризации в квазистатической системе геологического пространства обсуждаются в работах [18–20].

В качестве примера, позволяющего продемонстрировать некоторые положения выполненного обзора, приведем материалы геофизических съемок, послужившие основой успешных поисков урановых руд гидрогенного генезиса [21].

Применялся комплекс структурных методов (гравиметрия и магниторазведка с измерением напряженности гравитационного (Δg) и магнитного (T) полей). Из поисковых методов предпочтение был отдано электроразведке методами срединного градиента (с измерением кажущихся сопротивления (КС, $\rho_к$) и поляризуемости (ВП, $\eta_к$)), естественного поля с измерением потенциала ($U_{ЕП}$), а также радиометрии с измерением гамма-поля (J_γ). Комплекс основывался на априорной физико-геологической модели искомого объекта, взятой по аналогии с ориентировкой на один из типов урановых месторождений.

Благоприятным признаком является меганеоднородность геологической среды. Интерес представляют приграничные области блоков, интрузий, палеовулканов, структур, подчеркиваемые тектоническими нарушениями. Типичные гидрогенные месторождения урана образуются в проницаемых (трещиноватых, обломочных) в большей части осадочных породах, которые относительно более электропроводны. Для гидрогенных месторождений характерны положительные аномалии естественного электрического поля (ЕП), которые возникают не выходе к поверхности зон разгрузки обогащенных рудными минералами вод. Развитие в таких зонах сульфидной и урановой минерализации способствует повышению в них поляризуемости и естественной радиоактивности. Однако вследствие возможного проявления этой минерализации на глубине аномальность соответствующих ей геополей может быть слабой, что требует применения комплексной и количественной их интерпретации.

Рассматриваемый комплекс отражает принцип целесообразности, так как ориентирован на наиболее существенные признаки урановых месторождений. В условиях изучаемой площади с широким развитием карбонатных отложений интерес представляли участки контактов карбонатных и вулканогенных пород. Предпосылкой для их выделения показаны на типовой физико-геологической колонке месторождения, которая формировалась в процессе поисково-разведочных работ, ее окончательный вид представлен на рис. 2.

Вулканогенные породы отличаются от известняков относительно повышенными плотностью и магнитной восприимчивостью. Поэтому в большинстве случаев положительные аномалии изучаемых гравимагнитных полей (Δg и ΔT) интерпретировались как индикаторы вулканогенных пород (рис. 3).

Из теории и практики комплексной интерпретации этих полей известно, что нарушения качественного соответствия между аномалиями этих полей являются благоприятным признаком для обнаружения месторож-

дений многих полезных ископаемых. Поэтому подобные участки по аналогии представляют первоочередной интерес. Такой участок может быть выделен на демонстрируемом профиле (рис. 3). Как оказалось, он соответствует обнаруженному впоследствии месторождению. Для более наглядного отражения аномалий подобного рода целесообразно выполнять нормирование гравитационных и магнитных полей, обеспечивая их совпадение на большей части профиля или площади, что позволит более наглядно выделить участки расхождения полей. Такой подход является простейшим приемом в методе распознавания образов.

Для интегрального представления аномалии структурных методов использована функ-

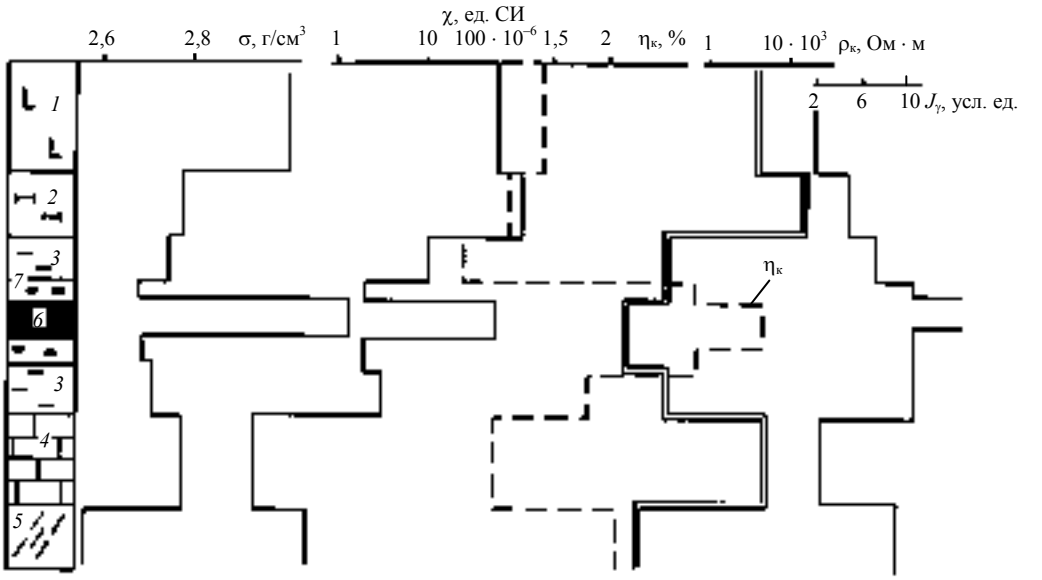

Рис. 2. Типовая физико-геологическая колонка месторождения урана (см. рис. 3): последовательно изображены: геологическая колонка, графики плотности, магнитной восприимчивости, кажущихся поляризуемости и удельного сопротивления, радиоактивности горных пород разреза [21, 22]

ция θ_1 комплексного показателя контрастности гравитационного ($\gamma_{гр}$) и магнитного ($\gamma_м$) молей, вычисляемая по формуле $\theta_1 = \gamma_{гр} - \gamma_м$ [1]. Безразмерные показатели контрастности локальных гравитационных и магнитных аномалий γ определялись с учетом данных статистики относительно нормального поля по большой площади и выражались в долях среднеквадратичного распределения фона. Как видим, аномалия θ_1 приблизительно фиксирует структурную неоднородность среды под профилем наблюдений с отчетливым участком расхождения сопоставляемых аномалий методов.

При анализе геополей поисковых методов заметны частичное расхождение перспективных аномалий $\rho_к$ и $U_{ЕП}$, а также серия слабопроявленных по интенсивности аномалий $\eta_к$ и J_γ. Эти факты связаны с различной специализацией методов по отражению разномасштабных и пространственно несовпадающих зон, связанных с оруденением. Так, обширная область понижения удельного сопротивления может фиксировать ореол околорудно измененных пород, а высокий потенциал ЕП обычно приурочен лишь к выходу этого ореола к дневной поверхности. Положительные аномалии ВП и радиоактивности могут соответствовать как участкам интенсивной минерализации на глубине, так и слабоминерализованным породам вблизи поверхности. Поэтому интерес представляют участки, где аномальные признаки частных моделей геополей проявлены совместно и сближены пространственно.

Для реализации комплексного подхода к решению многоальтернативной задачи поисков уранового оруденения вычислена функция θ_2, учитывающая вклад четырех геополей (ВП, ЕП, КС и радиометрии): $\theta_2 = \gamma_{ВП} + \gamma_{ЕП} - \gamma_{кс} + \gamma_р$. Аномальными могли считаться участки, на которых значения $\theta_2 > 4$ (удвоенного значения среднего квадратического отклонения распределения θ_2, которое зависит от числа задействованных методов m и равно $2\sqrt{m}$). Как видно из рис. 3, *в*, таких участков

на профиле два. Первый практически соответствует ореолу околорудно измененных пород, включающих и рудные залежи, а второй, меньший по размером и менее контрастный по комплексной аномалии, связан с рудопроявлением.

Как видим, именно реализация основных методологических установок позволила в

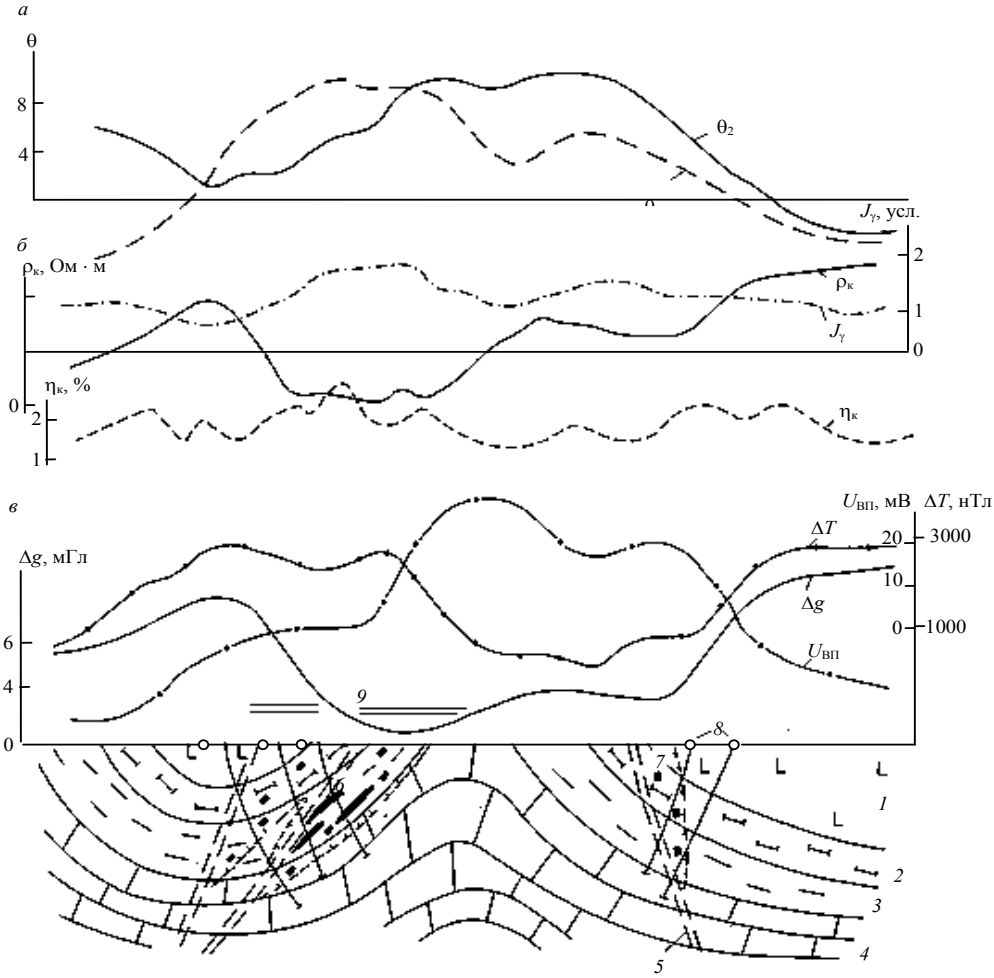

Рис. 3. Геологический разрез – *а*, геополя – *б* и функции комплексного показателя – *в* по профилю, проходящему через месторождение урана [21, 22]:
1 – габбро-диабазы; *2* – пестроцветные слюдистые сланцы; *3* – слюдисто-карбонатные шунгитсодержащие сланцы; *4* –карбонаты; *5* – тектонические нарушения; *6* – урановые руды; *7* – зоны гидротермально-метасоматических изменений и минерализации; *8* – скважины; *9* – участок нарушения соответствия между гравимагнитными аномалиями [21, 22]

рассматриваемом случае успешно проинтерпретировать данные съемки комплекса геополей, что способствовало обоснованию перспективности рудоносности на нескольких участках, подтвержденному бурением.

Представленные по месторождению материалы: детальный геологический разрез, типовая геолого-геофизическая колонка, геофизические поля и комплексные аномалии – в совокупности составляют апостериорную физико-геологическую модель уранового месторождения. Она имеет все необходимые компонентные модели: геологическую, петрофизическую, набор типовых аномалий, составляющих основу для дальнейших поисковых работ, и может рассматриваться как апостериорная физико-геологическая модель уранового месторождения для данного региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мягков В. Ф. Структурная геометро-статистическая модель строения геологических полей и методика решения геологоразведочных задач // Изв. вузов. Геология и разведка. 1982. № 3. С. 44–58.

2. Соболевский П. К. Современная горная геометрия // Социалистическая реконструкция и наука. 1932. № 17. С. 3–18.

3. Четвериков Л. И. Теоретические основы разведки недр. М.: Недра, 1984. 156 с.

4. Садовский В. Н. Основы общей теории систем. М.: Наука, 1974. 279 с.

5. Урманцев А. Ю. Начала общей теории систем // Системный анализ и научное знание. М.: Наука, 1978. С. 7–41.

6. Жданов М. С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. М.: Научный мир, 2007. 712 с.

7. Никитин А. А. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 342 с.

8. Страхов В. Н. Главнейшая задача в развитии теории и практики интерпретации потенциальных полей в начале XXI века – разрушение господствующего стереотипа мышления // Геофизика. 2001. № 1. С. 3–18.

9. Яновская Т. Б., Порохова Л. Н. Обратные задачи геофизики: учеб. пособие. Л.: ЛГУ, 1983. 212 с.

10. Родионов П. Ф. Десять лет электрометрии при поисках колчеданных месторождений на Урале // Цветные металлы. 1938. № 6. С. 28–37.

11. Электроразведка рудных полей методом заряда / М. В. Семенов [и др.]. Л.: Недра, 1984. 216 с.

12. Флакс Я. Ш. Оценка перспектив медного оруденения методом комплексной интерпретации геологических, геофизических и геохимических данных с помощью ЭВМ: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Свердловск: СГИ, 1968. 189 с.

13. Косыгин Ю. А. Тектоника. М.: Недра, 1988. 462 с.

14. Геологические тела: терминолог. справочник / под ред. Ю. А. Косыгина, В. А. Кулындышева, В. А. Соловьева. М.: Недра, 1986. 334 с.

15. Губерман Ш. А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. М.: Недра, 1987. 261 с.

16. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. М.: Мир, 1985. 232 с.

17. Виноградов А. М. Система изучения геополей при поисках колчеданных месторождений на Южном Урале: автореф. дис. … д-ра геол.-минерал. наук.. Екатеринбург: УГИ, 1992. С.

18. Виноградов А. М. К методике оценки информативности геологических тел // Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 5. С. 90–98.

19. Виноградов А. М. О признаках упорядоченности геополей при изучении структуры геологических тел // Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 10. С. 45–53.

20. Виноградов А. М. Блок-схема общего алгоритма геологической интерпретации вещественных и энергетических полей // Геофизика и математика: материалы Второй всерос. конф. / под ред. акад. В. Н. Страхова. Пермь: Горный ин-т УрО РАН, 2001. С. 42–56.

21. Голомолзин В. Е., Титова В. А., Денисов А. В. Физико-геологическая модель уран-рудоконтролирующей структуры в метаморфизованных шунгитсодержащих породах нижнего протерозоя // Методы рудной геофизики. Геофизические и геохимические методы при поисках и разведке месторождений гидрогенного типа. Л.: НПО «Рудгеофизика»,1989. С 114–123.

22. Сапожников В. М. Комплексирование геофизических полей: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 76 с.

23. Вахромеев Г. С. Основы методологии комплексирования геофизичсеких исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1978. 152 с.

Поступила в редакцию 20 июня 2013 г.

Виноградов Альберт Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории региональной геофизики. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: gopm@mail.ru

Сапожников Вадим Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геофизики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: elrswm@ursmu.ru