

СИСТЕМАТИКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОПОЛЕЙ *

Виноградов А.М. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Показано, что практика и теория описания и интерпретации физических и других полей в геологии использует 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.

Геофизика, геология, поля, интерпретация, систематика, методология, формализация, алгоритмизация.

SYSTEMATICHION OF METHODOLOGICAL INSTALLATIONS IN INTERPRETATION OF GEOFIELDS

Vinogradov A.M. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. Is shown that the practice and theory of the description of physical and other fields in geology uses the usual main methodological installations. They open qualitative and quantitative attributes of object and subject of researches. The system unity of these installations opens the approaches and prospects of general algorithm creation for geofields interpretation.

Geophysics, geologies, fields, interpretation, systematichion, methodological, formalisaishion, algoritmisaishion.

Последние десятилетия внимание 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 ещё не разработаны. Продуктивные решения частных задач для конкретных условий являются предпосылками достижения поставленных целей, и этим пока довольствуется геофизическая практика. Очевидно, что при решении, прежде всего, трудно формализуемых задач, должны сочетаться методологическая, теоретическая и программно-алгоритмическая стороны описания вещественных и энергетических полей. Исполнители таких работ принимают ту или иную концептуальную установку, вносят свои коррективы в неё 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 выше заключается в применении блок-

схемы геологической интерпретации вещественных и энергетических полей. Она на стадии завершённого НИР была рекомендована для использования в программном обеспечении отечественных компьютеризированных многозондовых каротажных станций в системе «ГИС-Руда», что позволяло 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 – сложные задачи решать просто, простые – полно. При этом привлекаются различные частные программы, непротиворечиво общему устремлению в интерпретации по принятой блок-схеме. В конечном итоге с методологических позиций процесс интерпретации сводится к саморазвитию диалога интерпретатора и достигнутых результатов с использованием частных программных средств.

В данной статье мы ограничимся сжатой систематикой сложившихся методологических установок в интерпретации полей различной природы, которые могут быть поло-

* Публикуется в порядке обсуждения

жены в основу конструкции общего алгоритма.

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» (Мягков, 1982; Соболевский 1932; Четверяков, 1984), отражая различные стороны предмета через его модели. Тогда для всестороннего изучения 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 её достижения детально рассматриваются при изучении познавательной деятельности и в частности наиболее успешно средствами общей теории систем (Садовский, 1974; Урманцев, 1978). 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 (Жданов, 2007; Никитин, 1986; Страхов, 2001; Яновская, Порохова, 1983).

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. Выражается качественная интерпретация 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 при становлении рудной геофизики, наблюдения не ставили целью определение численных значений напряженности электрического поля. При интерпретации же производилась качественная реконструкция направлений течения тока в сравнении с модельно установленной для разнообразных ситуаций (Родионов, 1938). Этого было достаточно для выделения осей распределения электрических неоднородностей на плане изолиний потенциала. Подобный подход присутствует при решении других, порой достаточно сложных задач.

Дальнейшее развитие качественной интерпретации связано с использованием метода распознавания образов, в том числе при прогнозировании колчеданных месторождений (Урманцев, 1978; Флакс, 1966). Геофизические исследования, опережая геологическое изучение объекта, не могли ответить 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 отнести новый к одному из определённых классов» (Флакс, 1966. с. 10). 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 её 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. Парадокс

сальным 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 приёмов. Они обеспечивают решение поставленных задач от принципов «ищи руду около руды», «ищи руду по аномалии геополей» до современной научной парадигмы (Страхов, 2001): 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.

Анализируя сложившуюся практику интерпретации геополей, можно выделить в ней элементы, согласующиеся с установками (Урманцев, 1978) общей теории систем (ОТС). Наиболее чётко они раскрываются Ю.А. Косыгиным при обосновании методологии тектонического картирования (Косыгин, 1988) 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 обще-

му элементарному подходу к интерпретации. Он предусматривает выделение в системе неделимых элементов. Из этих элементов строятся качественные и количественные описания полей (характерные точки, осреднённые и интегральные значения каких-либо параметров и т.д.) и установление на этой основе характеристики (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 (Никитин, 1986).

Принцип специализации – отношение связи между элементами, скрепляющее 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...). Такая модель даёт одностороннее отражение предмета. В одних случаях она согласуется с предметом исследований, в других – фиксирует некоторый элемент предмета (простираение, 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 геополь.

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 познавательной 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.» (Косыгин, 1988, с. 32). Таким образом, при системном подходе формируемые модели должны объединяться в такие композиции, которые наиболее согласуются с принятой геологической концепцией или увязывают эту концепцию с логически непротиворечивыми реконструкциями, направленными на достижение поставленной цели.

Интерпретация геополей – 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 – процедура интерпретации, основанная на уста-

новлении сходства и различия геополей по отдельным характеристикам или их сочетаниям и установлении их соответствия предметному содержанию цели или её характеристикам. Сравнение оперирует с 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, стоящих в геологии – формализацией описания геологических тел и геологических полей (Геологические..., 1986)

Аналогия при интерпретации геополей предусматривает установление сходства между явлениями, и на этой основе интуитивное или логическое построение гипотез и теорий об их содержании. Сходство раскрывается через упорядоченность геометрических характеристик (Карери Дж, 1985). 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 непротиво-

речивых 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 (Жданов, 2007). 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» (Губерман, 1987).

В настоящее время сложилась определённая система постановки задач в интерпретации. С самых общих позиций она сводится к двух- и многоальтернативной, прямой и обратной. Двухальтернативная 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. Двухальтернативная постановка задач, например, связана с прямыми поисками рудных тел. Многоальтернативная – получила развитие при использовании геофизики для целей картирования и решения 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. Намечаются, с учётом этих построений, локальные аномалии, перспективные на выявление рудных тел. Таким образом, двухальтернативная постановка задач связана с оптимальным, а многоальтернативная – с рациональным процессом работ.

В теории интерпретации геополей любой специализации обычно рассматривается две стороны поставленной задачи – прямая и обратная. При прямой – каждому формализованно описанному распределе-

нию структуры свойств вещества однозначно соответствует формализованно 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.

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 – 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, ох-

ватывающих 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 завершённой 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 её результатам определённые требования. Главное из них – 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 ещё не найден общий подход. Поэтому каждая статья, монография или другая работа сопровождается своим набором изобразительных средств, поясняемых в условных обозначениях или 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 квазистатистических систем в геологии (Косыгин, 1988). В этой системе геологическое время является фиксированным, а процедуры интерпретации 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 квазистатистическая система является отправным элементом для прогнозирования геодинамики современных явлений и ретроспективного обращения в геологическое прошлое для выявления элементов, роль которых для практических целей через квазистатистические построения установить невозможно. Так радиальные и кольцевые структуры гравимагнитных полей, выделяемые в районе развития вулканогенных пород на Южном Урале, с учётом данных по современным вулканическим областям, удалось увязать с кальдерной палеотектоникой, а это позволило выйти на геофизические признаки прогнозирования рудовмещающих структур. Выше отмеченные и другие многочисленные примеры из нашей практики и практики других работ указывают на формирование нового направления в интерпретации геополей – системного подхода.

Таким образом, рассмотренная систематика методологических установок интерпретации геополей показывает на системную 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 квазистатистической системе геологического пространства обсуждаются в работах (Виноградов, 1990а; б; 2001).

Литература

Виноградов А.М. К методике оценки информативности геологических тел // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1990а. № 5. С. 90-98.
Виноградов А.М. О признаках упорядоченности геополей при изучении структуры геологических тел // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1990б. № 10. С. 45-53.
Виноградов А. М. Блок-схема общего алгоритма геологической интерпретации вещественных и энергетических полей // Геофи-

зика и математика: матер. Второй всероссийской конф. / ГИ УрО РАН. Пермь, 2001. С. 42-56.

Геологические тела (терминологический справочник) / Под редакцией Ю.А. Косыгина, В.А. Кулындышева, В.А. Соловьёва. М.: Недра, 1986. 334 с.

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

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

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

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

Мягков В.Ф. Структурная геостатистическая модель строения геологических полей и методика решения геологоразведочных задач // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1982. № 3. С.44-58.

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

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

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

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

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.

Урманцев А.Ю. Системный анализ и научное знание. М.: Наука, 1978. С. 7-41.

Флакс Я.Ш. Оценка перспектив медного оруденения методом комплексной интерпретации геологических, геофизических и геохимических данных с помощью ЭВМ // Автореферат диссертации. 1966. 26 с.

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

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