

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИКЛАДНОЙ МАГНИТНОЙ КАРТОГРАФИИ

Дано определение «прикладной магнитной картографии», рассмотрены теоретические и методологические аспекты, современное состояние прикладной магнитной картографии.

Ключевые слова: *магнитная картография, карта аномального магнитного поля.*

Definition of “applied magnetic cartography” is given, theoretical and methodological aspects, a current state of applied magnetic cartography are considered.

Keywords: *magnetic cartography, the map of anomal magnetic field.*

Геомагнитное поле является предметом познания различных отраслей знания: магнитометрии, магниторазведки, геомагнитологии и др. Сущность исследуемого явления – магнитного поля Земли (МПЗ) – объединена в конкретном пространстве МПЗ с картографией *способом графического отображения пространства явления*. Магнитная картография (МК) ведёт отчёт от первой магнитной карты магнитного склонения акватории Атлантического океана, построенной Э. Галлеем в 1701 г. В России первые магнитные карты построены А. Тилло по результатам планомерной магнитной съёмки европейской части России, проведённой И. Смирновым в конце XIX в., определившим магнитное поле по 281 пункту. В других трудах А. А. Тилло разработал по магнитным картам методы анализа вековых изменений магнитного поля (Б. М. Яновский, 1978). Магнитные карты широко применяются при решении научно-прикладных, учебных, военных и иных задач.

На современном этапе МК представляет собой один из видов тематической картографии, посвящённой теории, методике и технике построения графических изображений данных МПЗ. Картографические произведения специального тематического содержания являются уникальным информационным ресурсом благодаря своей возможности в концентрированном виде в наглядной, легко воспринимаемой форме давать большой объём специальных знаний. МК создаются трудом большого числа организаций и специалистов. В то же время общая теория МК отстаёт в развитии от общей картографии и, к сожалению, не получила в эпистемологическом концепте самостоятельного развития как научной дисциплины, поскольку слабо разработаны методологические установки, принципы и нормы подхода к объектам МК как науки, нечётко определены ее предметная область, структура, методы исследования. Нет определённости и в понятийной базе (картосемиотике) МК.

Концепт МК как науки изменчив. Каждому этапу развития МК соответствует определенный предмет исследования, характеризующий степень охвата и глубину познания ее объекта. «Наука – писал известный историк и философ Р. Дж. Коллингвуд (1980, с. 322) – не набор истин, которые устанавливаются одна за другой, а организм, в каж-

дой части которого по мере развития происходят непрерывные изменения». В этом контексте наука выступает как открытая эволюционирующая система. Данный денотат прослеживается в трёх основных работах, посвящённых магнитной картографии [6, 11, 13]. В монографии В. А. Колесовой обобщены результаты отечественных и зарубежных исследований спектральной структуры стационарного магнитного поля, описываются аналитические методы представления аномального магнитного поля (АМП) и методика составления мировых магнитных карт элементов стационарного геомагнитного поля для земного шара в м-бе 1 : 10 000 000. В сборнике «*Принципы магнитной картографии и методика составления карт*» (1985) освещены и прокомментированы методика и результаты обработки аэромагнитных измерений, уделено внимание проблемам составления мелкомасштабных карт АМП, нормального магнитного поля Земли и векового хода, проанализированы проблемы крупномасштабного картирования и другие проблемы. В работе Ю. С. Глебовского [6] рассмотрены этапы МК, связанные с резким увеличением информативности результатов аэромагнитных съёмок, на основе модельных и теоретических исследований определены требования к картам магнитного поля среднего и крупного масштабов.

Ф. Бэкон – апологет экспериментального (индуктивного) изучения природных явлений перед началом спора (в широком смысле, любого обсуждения проблемы) советовал уточнить терминологию. Основатель дедуктивного метода Декарт известен рекомендацией: «Определяйте понятия, и Вы избавите человечество от половины его заблуждений». Посмотрим, как играет понятие МК на терминологическом поле. Обращаясь к существующим формулировкам, можно заметить, что МК определяется разными исследователями по-разному. Одни относят к этому понятию процесс геомагнитных измерений и весь арсенал средств интерпретации магнитометрических данных. Другие сводят это понятие к анализу вариантов изображения результатов измерений. Третьи рассматривают МК только в аспекте составления карт по результатам аэромагнитной съёмки, проводимой в геологических целях (В. С. Цирель, 1985). Г. И. Мартынова [13], ссылаясь на К. А. Салищева (1976), предлагает следую-

шее понятийное определение предмета МК с точки зрения теории научного познания: «Конкретное пространство определённых явлений и объектов действительности, его моделирование и познание структур и закономерностей взаимосвязей (сочетаний) пространственных систем явлений (предметов) в их временной динамике». В работе [14] МК определяется как «раздел науки о магнетизме Земли, посвящённый теории, методике и технике построения графических изображений магнитного поля Земли и окружающего её пространства для наглядного представления результатов исследований и их анализа». Различия в трактовке понятия «магнитная картография» вытекают из различных уровней и видов научных исследований, однако все они сходятся в одном – изучаемым явлением и объектом реальной действительности, составляющими предмет познания магнитной картографии, является *геомагнитное поле* (ГМП).

Рассмотрим основной круг эпистемологических категорий МК, выделив в особый структурный уровень знание об этой деятельности (метазнание) – сущность и объект (предмет) познания, предметная область, структура, терминология (семантика), формы и методы познания. Для отражения объективно-субъективного характера МК как науки нужно ее классифицировать как деятельность (фактология) и как знание (гносеология). Единство этих понятий образует фундамент научных представлений МК.

Итак, предметной областью исследования МК является *геомагнитное поле*. МК не объясняет природы пространственных структур ГМП, их сочетаний и динамики, а лишь выявляет и отображает их в образной, знаковой и образно-знаковой формах [13]. В более широком понимании предметом познания МК являются пространственные сочетания и взаимосвязи структур ГМП с другими геофизическими полями и геологическими объектами. С этих позиций *предмет* познания МК – *магнитная карта* (зачастую предмет исследования подменяют задачами исследований). К магнитным картам относятся карты склонения D , наклонения I , полного модуля вектора геомагнитной индукции T , карты горизонтальной и вертикальной составляющих T , нормального МПЗ T_n , векового хода (изопор) δT , аномальной составляющей модуля полного вектора геомагнитного поля $(\Delta T)_a$, а также карты специальных характеристик геомагнитного поля. Аномалии геомагнитного поля представлены широко – от планетарных (материковых) до элементарных локальных [4]. Карты АМП строятся по материалам аэромагнитных съёмки м-бов от 1 : 10 000 до 1 : 10 000 000 и мельче, проводимых в геологических целях. Значения $(\Delta T)_a$ получают вычитанием из измеренных значений модуля полного вектора магнитной индукции значений нормального поля, приведённых к эпохе (средние за пятилетие): $(\Delta T)_a = T - (T_n - \delta T)$. Магнитные карты строятся также по спутниковым измерениям Magsat, Пого, Champ, Swarm и др.

В связи с бурным развитием аэромагниторазведки в прошлом столетии наметился тренд в делении МК на общую МК и прикладную. В данном контексте прикладную МК можно рассматривать как прикладную науку, ориентированную на практическое применение знаний, полученных в результате специальных инструментальных аэромагнитных исследований. Таким образом, мы подошли к поня-

тию «*прикладная магнитная картография*» (ПМК). Известно определение Ю. С. Глебовского, трактующего ПМК как «раздел магнитной картографии, посвящённый графическому изображению результатов магнитных съёмок и нацеленный на решение геологических задач (региональные исследования, геологическое районирование, геокартирование, прогнозирование размещения полезных ископаемых, поиски и разведка» [6]. Это определение, на наш взгляд, охватывает широкий круг задач и не все они напрямую соотносятся с предметной областью картографии. На основании многолетнего опыта производства аэромагнитных карт можно остановиться на следующей формулировке: *прикладная магнитная картография – раздел общей магнитной картографии, направленный на исследование пространственных структур и природы геологических объектов с целью решения геологических задач. Объектами картографирования являются аномальное магнитное поле с его преобразованиями, нормальное магнитное поле Земли, результаты геолого-геофизической интерпретации в виде картографических произведений.*

Несмотря на то что индустрия карт АМП достаточно хорошо развита, теоретические и методологические основы прикладной, как и общей МК, разработаны слабо. Все проблемы, стоящие перед общей МК, в равной мере касаются и прикладной МК. Процесс производства карт АМП развивался в основном по двум направлениям. На одном уделялось внимание фактологической стороне вопроса – точности представления измеренных данных на картах в зависимости от применяемой аппаратуры, условий измерений, характера поля. Процесс развивался в русле совершенствования методики и технологии аэромагнитных съёмок и графической реализации их результатов по стандартной схеме, узаконенной инструкцией. Второе направление разширилось по мере накопления результатов измерений геомагнитного поля и необходимости их обобщения [7–10]. Для обеспечения унификации карт разрабатывались единые правила картосоставления и подготовки к изданию, которые регламентировали производство аэромагнитометрических работ в конкретных масштабах («Инструкция по составлению и подготовке к изданию карт аномального магнитного поля масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Прилож. к технической инструкции по магнитной разведке». М.: Госгеолтехиздат, 1963»; «Требования к геофизической основе государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000/3», 2003; «Временные требования к геофизическому обеспечению геологосъёмочных работ, завершающихся созданием Госгеолкарты-200 (второе издание)», 1999; «Методические рекомендации по геофизическому обеспечению геологосъёмочных работ масштаба 1 : 200 000», 2000). Необходимо отметить, что в этих документах не рассматриваются теоретические и методологические вопросы прикладной МК с позиций концептуальных подходов современного естествознания к изучаемым объектам, основанных на реализации целостного подхода к изучаемому объекту.

Вопросу о месте прикладной МК в системе наук не уделяется достаточного внимания и, как правило, рассмотрение этого вопроса ограничивается определением ряда характерных черт ПМК. Поскольку ПМК является ветвью МК, рассмотрим теоретические и методологические аспекты

ПМК в контексте исторического развития МК. Общая МК прошла следующие стадии развития: описательную, аналитическую, системную. Первая стадия не требует своего осмысления как науки. Эта стадия характеризуется накоплением знаний, их практическим освоением, регистрацией фактов (*Гаусс, Гумбольд, Купфер, Симонов, Фокс, Тилло, Ламон, Фритше* и др.). Вторая – аналитическая, характеризуется более высоким уровнем развития науки, когда накопленные факты оформляются в научное знание (*Лазарев, Архангельский, Бауман, Заборовский, Яновский, Строна, Трубяччинский, Вейнберг, Логачёв, Орлов, Симоненко, Цирель, Карасик, Булина, Духовский, Глебовский, Никитский, Антонович, Цирель, Макарова, Мартынова, Соловьёва, Литвинова, Эринчек, Heiland, Carlheman-Gillenskod, Alldredge, Masson, Stockard, Korchonen* и др.), оформляются теории и методология науки, возникают логические отношения, осуществляется переход от рассмотрения научной деятельности к научному знанию. Третья стадия – системная, характеризуется осмыслением науки как целостной системы (*Глебовский, Мартынова, Цирель, Литвинова, Эринчек*). Рост дифференциации науки, в том числе и прикладной МК, обуславливает необходимость развития принципов и методов познания. Современный этап развития прикладной МК – переходный от аналитической стадии к системной. Однако надо учитывать, что аналитическая стадия развития МК не достигла зрелости, а системный подход – это современный вызов в развитии научного познания. Предпосылки для перехода на системный этап развития ПМК складываются постепенно. На этом перевале развития ПМК необходимо определить основные достижения и пути дальнейшего развития.

Как было отмечено выше, *теоретический и методологический аспекты* науки получают развитие на аналитической стадии. Рассмотрим данные аспекты в применении к прикладной МК. Теоретическая сторона заключается в системе понятий – научного языка ПМК, оценки качества. Это невозможно без обращения к общей картографии, развитие которой достигло наибольшего прогресса.

Среди теоретиков общей картографии в последние десятилетия пользовались популярностью три концепции. Первой по времени возникновения и по распространению в России признается модельно-познавательная, согласно которой картографию рассматривают как географическую науку о познании окружающего мира с помощью карт, а сами карты считают моделями действительности (*Л. Ратайский*). Вторая концепция – коммуникативная, принятая на Западе, согласно которой картография занимается передачей пространственно-временных данных, а карты – особый канал информации (*Е. Арнбергер, А. Робинсон, Freitag, 2000*). В свете третьей концепции картография – это отрасль лингвистики, исследующая проблемы картографического языка, а карты – особые тексты, написанные на этом языке (*А. Ф. Асланикашвили, А. А. Лютый, Я. Правда*). «Геоконический» вектор нашел отражение в определениях *А.М. Берлянта (1996)*. «Картосемиотическим» вектором характеризуются дефиниции *А. Володченко (2009)*.

Современные теоретические исследования показывают, что абсолютизация любой из этих концепций малопродуктивна. По остроумному замечанию словацкого картографа *Я. Правды*, особо вы-

делять в картографии ведущую роль коммуникации или картографической семиотики – это все равно, что говорить о ведущей роли одного из вагонов в движущемся железнодорожном составе. Карта сочетает в себе достоинства познавательной модели, при этом служит мощным каналом передачи пространственно-временной информации и, несомненно, опирается на особый знаковый язык, иначе говоря, сочетает все три названных выше подхода. В нашей стране картография развивается как познавательная наука, как метод исследования, как частнонаучный метод исследования действительности посредством карт, используемых в качестве образно-знаковых моделей реального мира [15, 16]. В теоретическом прогрессе общей картографии большую роль сыграло утверждение понимания карт как пространственно-временных, образно-знаковых моделей действительности; внедрение в картографию принципов системного подхода, при котором природные и общественные явления стали рассматриваться при картографировании как целостные взаимодействующие системы различного территориального охвата и иерархического уровня (когда учитываются не только элементы, входящие в состав картографической системы, состояние и свойства этих элементов, но также внутренние и внешние взаимосвязи и функционирование системы). Интенсивно развиваются исследования языка карт, во-первых, на принципах семиотики (науки о знаковых системах вообще), во-вторых, на принципах языкознания (лингвистики) – науки о естественном языке в стремлении использовать положения этих наук для разработки искусственного языка карт.

Теоретический аспект. Как известно, каждый предмет познания обслуживается специфической системой понятий. Начнём с понятия «карта». В научной и учебной литературе по картографии встречаются разные его толкования. 10-я генеральная ассамблея Международной картографической ассоциации (МКА) приняла рабочее определение карты как знакового изображения географической реальности, отображающего отдельные ее особенности или характеристики как результат творческого авторского отбора, предназначенного для использования в тех случаях, когда пространственные отношения имеют первостепенное значение. Это определение – результат многолетних усилий Комиссии МКА, дискуссий в печати и на международных форумах, итог обобщения разных мнений, многих концептуальных и лексических компромиссов. В отечественной картографии известно несколько общепризнанных формулировок карты (*К. А. Салищев, 1982; Е. Е. Ширяев, 1977, 1984; ГОСТ 21667–76, А. М. Берлянт, 1986, 2001*), но все они определяют карту как *пространственную, математически определённую образно-знаковую модель действительности, обладающую пространственно-временным подобием относительно оригинала, масштабом, метричностью, высокой наглядностью, обзорностью, абстрактностью, избирательностью, синтетичностью*. В теоретическом плане важно обратить внимание на основные свойства карты.

Пространственно-временное подобие – основное свойство карты, выражается через геометрическое подобие и подобие отношений картографируемых объектов. Под *наглядностью* понимается то, что любая карта содержит материал, на описание которого понадобились бы сотни страниц книжного

текста. *Масштаб карты* — одна из важнейших её характеристик. Он определяет степень уменьшения линий на карте относительно горизонтальных проложений соответствующих им линий на местности. *Избирательность* проявляется в том, что изображаются не все геофизические объекты, а часть объектов, отобранная с определённой целью. *Обзорность карты* — свойство охватывать единым взором и сравнивать удалённые объекты, изображённые в едином метрическом пространстве. *Синтетичность* обеспечивает изображение картографируемых объектов как некую целостную систему, базирующуюся на структурной триаде *знак — образ — информация* [3]. Подчёркивается, что подобным набором свойств не обладает ни одна другая идеальная или материальная модель, используемая в науках о Земле. Карта, как отмечает А. М. Берлянт, в отличие от других средств коммуникации даёт не последовательность сигналов (знаков), а множество знаков одновременно, что создаёт возможность их пространственной комбинации. Карта, благодаря обзорности, наглядности и образности своего языка, позволяет осуществлять поиск, считывание и анализ информации с любым охватом территории, от локального до глобального. Картографирование как процесс является методом отражения действительности, цель которой состоит в переходе от реальной действительности (наблюдений) к карте, т. е. в изучении действительности посредством создания картографических моделей. Особо следует подчеркнуть, что *карта есть образно-знаковая модель* действительности. Картографические знаки — это особый язык карты, коренное отличие которого от словесного языка, заключается в возможности проведения различных действий с преобразованием знаков из одной формы в другую, исчислением знаков и других операций с ними. Но главное отличие карты от других носителей информации заключается в её образности. А. Ф. Асланикашвили [1] отмечает, что сам по себе «знак ничего не отображает, кроме самого себя и того факта, что к нему отнесено значение, выражающее предмет». Картографический образ формируется пространственной комбинацией знаков, их взаимным расположением, положением относительно пространственных координат, взаимной упорядоченностью, объединением или совмещением. Важное место в этих разработках занимает проблема распознавания графических образов, их чтение и пространственный анализ.

Географические информационные системы (ГИС) положили конец спорам, что есть карта — пространственная модель или канал передачи информации. Современная геоинформационно-картографическая концепция трактует картографию как науку об информационном моделировании и познании геосистем. Общая теория геоизображений получает практическое применение в науках о Земле и связанных с ними социально-экономических и геоэкологических отраслях знания при решении управленческих, образовательных, оборонных и других народнохозяйственных задач. Всё это касается и прикладной МК. Гносеологически и семантически геомагнитное поле в данном контексте рассматривается как элемент геосистемы, а карты АМП как геоизображение. Такой подход значительно расширяет возможности как приёмы составления, так и последующего анализа, интерпретации и использования карт АМП, связывая

в единую логическую цепь весь процесс в целом, изначально нацеливая его на сопряжение с другими тематическими геоизображениями (геологическими, дистанционными, геохимическими и т. п.), способствуя вводу процесса в русло новой общей теории геоизображений — геоиконику.

Гносеологический аспект ПМК состоит в создании картографических моделей (в том числе и цифровых), выступающих основным инструментом познания объективной действительности, выраженной в существовании магнитного (геофизических) поля. В более широком понимании предметом познания ПМК являются пространственные сочетания и взаимосвязи структур АМП и геологических объектов. Гносеологичность карты состоит в возможности при помощи карт (как пространственных графоаналитических моделей) и специальных методов исследования устанавливать объективные закономерности природных процессов.

В *семантическом аспекте* картографическая информация рассматривается как текст, в строении которого выделяются следующие структурно-функциональные уровни: морфемный (картографические знаки — КЗ), лексический (обозначения), морфологический (образы — КО), образный (карта). Семантическая информация определяет тип объекта и его характеристики (вид условного знака, ширину, высоту, цвет и т. д.), а также содержание подписей [19]. Семантические аспекты проявляются также во взаимодействии картографа с ЭВМ: работа с файловой системой, с помощью которой формируется информация о составляющих проект элементах и способе их соединения, описание атрибутивных баз и т. п. Семантика карты связана с легендой. Для геофизических карт данный аспект не особо значим.

Итак, картографический образ формируется системой картографических знаков, но проявляется этот образ только лишь при взаимодействии пользователя и карты.

По степени объективности и достоверности содержания различают карты-наблюдения и карты-умозаключения. *Карты-наблюдения* содержат данные, полученные по результатам измерений (например, карты магнитометрические, гравиметрические, радиометрические). *Карты умозаключения* создаются путём обработки фактических данных и их интерпретации в соответствии с представлениями автора об изображаемом явлении (схемы районирования полей, схем комплексной интерпретации геофизических полей, геолого-геофизические разрезы и др.).

Основной смысл создания карт — использование карт в различных сферах научной и практической деятельности. Цель использования карт состоит в получении по картам качественных и количественных характеристик явлений, оценочных показателей, изучении структуры, взаимосвязей, динамики явлений. Важность задач, решаемых геофизическим картографированием, предьявляет повышенные требования к качеству картографических произведений. *Качество — атрибут, определенная сущность объекта, показателем которой является совокупная характеристика всех его свойств и признаков.* Основные свойства карт, в том числе и карт АМП, обеспечивающие качество карт: *релевантность, надёжность, кондиционность, достоверность, читаемость, точность, дизайн.* Перечисленные свойства являются содержательными (информационными).

Релевантность – соответствие карт решаемым конкретным задачам, проявляется различно в каждом частном случае. Магнитные карты – карты универсальные, их тематическое содержание определяется изображением нескольких компонент, одна из которых преобладает, например аномальная составляющая, остальные – изолинии нормального поля, данные абсолютных наземных наблюдений, географическая нагрузка, справочно-табличные данные в зарамочном оформлении на полях карт, атрибутивные таблицы и другие вспомогательные. Естественно, что если пользователь будет изучать поведение нормальной составляющей по картам АМП и по картам нормального поля, то их релевантность будет разной.

Позиции и взгляд составителя на содержательную полезность карты могут не совпадать со взглядом пользователя. Противоречия между создателями и потребителями карт особенно заметны при создании банков картографических данных.

Способность карт быть релевантными усиливается за счёт создания разнообразной специализации карт и за счёт внедрения оперативного картографирования на базе обновляющегося банка данных. Критерием релевантности является информативность карт, которая может определяться отношением полезной информации (с точки зрения решаемых задач) к полной информации [5]; $N = I_{\text{полезн}}/I_{\text{полн}}$ приближённо может определяться экспертным методом.

Рассмотрим на примере: мы располагаем двумя картами АМП м-бов 1 : 200 000 и 1 : 1 000 000 с разными сечениями изолиний. В одном случае карта имеет регулярное сечение от ± 10 до ± 100 нТл, далее сечение произвольное, в другом случае регулярное сечение до ± 500 , через ± 100 нТл, а далее сечение нерегулярное. Решаемая задача: анализ пространственной структуры АМП с целью выделения региональных таксонов. В первом случае погрешность нанесения изолиний составляет 20 м (графическая точность), картина поля детальная со многими мелкими подробностями; во втором – графическая точность составляет 100 м, карта лишена многих деталей. По отношению к поставленной задаче вторая карта, несмотря на укрупнённое сечение, будет релевантна решаемой задаче. Карты, целевое назначение которых определяется решением одной главной задачи, также релевантны. Эти карты не кондиционные, для их составления не обязательно соответствие нормативно-инструктивным документам. Однако они также должны отвечать определённым требованиям качества. Примерами таких карт в ПМК могут служить карты трансформаций.

Надёжность – комплексный показатель качества карты, характеризуется тремя свойствами: *достоверностью*, *полнотой*, *точностью* (Л. Е. Смирнов, 1978, 1988).

Достоверность – безошибочность содержания карты и отсутствие в ней дезинформации гарантируются качеством исходных материалов, в том числе съёмочных. Степень достоверно или недостоверно переданной информации может быть оценена вероятностно-статистическими методами или на основе представительной выборки по другим картам, например, карты изолиний АМП проверяются по картам графиков АМП или цифровым массивам, карты графиков по исходным данным – магнитограммам, планам графиков или по

отчетным материалам, по соответствию цифровой модели (матрицы) цифровой карте.

Полнота содержания карты – отсутствие пропусков в изображении АМП (в графиках и изолиниях). Проверяется в сравнении с исходным или первичным материалом.

Точность картографического изображения характеризуется погрешностью (среднеквадратической, относительной) аэромагнитных съёмок, погрешностью положения на карте площадных, точечных и линейных объектов относительно географической основы.

Кондиционность – соответствие составленной карты заданным нормам, закреплённым в инструкциях и других нормативных документах. Критерии кондиционности те же, что и надёжности: достоверность, полнота и точность, но определяются они не относительно объекта картографирования, а согласно заранее сформулированным требованиям.

Читаемость – характеристика эффективности многоуровневого процесса отображения карты в сознании пользователя. Выделяются четыре уровня читаемости: различимость, воспринимаемость, наглядность и понятность, последовательно включающиеся. Читаемость предлагается оценивать различными количественными методами: экспертными, экспериментальными, расчётными. Во всех случаях она определяется скоростью и точностью решения задач по карте. Общий показатель читаемости образуется при объединении показателей всех уровней в основном в виде линейной регрессивной модели.

Дизайн – система художественных приёмов оформления карт, способствующих улучшению восприятия их содержания и созданию определённого эмоционального воздействия на пользователя соответственно целевому назначению карт. Оценка выполняется методами экспертного анализа.

Важным условием картосоставительского процесса является соблюдение взаимной однозначности знаков, символов, изображённых на картах, знакам, символам, представляемым на полях карты в условных обозначениях.

Перечисленные свойства имеют разную размерность и поэтому их невозможно сравнивать. И. В. Гармиз [5] предлагает использовать относительный показатель свойств карты как функцию, выраженную в шкале отношений и характеризующуюся зависимостью $K_i = (P_i - P_i^{\text{доп}})/(P_i^{\text{э}} - P_i^{\text{доп}})$, где P_i – абсолютный показатель i -го свойства; $P_i^{\text{доп}}$ – допустимое значение i -го свойства; $P_i^{\text{э}}$ – эталонное значение i -го свойства.

Методологический аспект. Под методологией обычно понимают систему принципов и способов организации и построения теоретической и практической деятельности, а также учение об этой системе. Методология любой науки обеспечивает чёткость и ясность постановки научной или практической проблемы, осуществляет мировоззренческую интерпретацию результатов науки, помогает вырабатывать стратегию науки и практики, рекомендации и правила, т. е. те нормы, которыми должен руководствоваться исследователь. Предметная область методологии позволяет системно исследовать структуру конкретной науки, совершенствовать её с целью получения нового знания [18]. В общем случае методология объединяет цели и задачи, объект и предмет, методы и средства картографии как научного направления.

Методология картографического отображения не зависит ни от конкретного содержания, ни от практических прикладных задач. «Она ставит своей задачей создание единых принципов, единых способов передачи геоинформации преимущественно в более общих абстрагированных формах существования» [19].

Цель прикладной МК – создание карт АМП разных масштабов. Особенность их состоит в графическом способе представления информации геофизического пространства. По сути речь идёт о картографическом виде моделировании геофизического пространства.

В круг задач входит разработка способов отображения АМП и его производных, впрочем, как и других геофизических полей. Важной задачей являются способы увязки измеренного поля, приведения к одному моменту времени (эпохе), генерализация картографируемых объектов, связанная с масштабной инвариантностью и процессом интерполирования, упорядочения системы знаков.

Объект познания – совокупность элементов геофизической среды, взаимосвязанных некоторым множеством отношений, в первую очередь пространственных. Магнитное поле (гравитационное и др.) обладает свойством непрерывности в пространстве (в отличие от геологического, геохимического, минералогического пространства). Под непрерывной понимается информация об объектах или явлениях, область распространения которых может быть представлена в геологическом пространстве некоторой двумерной поверхностью в виде непрерывной функции $z(x, y)$.

В картографии под объектом понимаются графические знаки (изолинии, подписи к ним, значения экстремумов, географическая сетка, линии разрезов и т. п.) с атрибутивными таблицами, содержащими информацию о них.

Предмет исследования – отображение (моделирование) геофизических объектов в связке с геологической средой и проявлением их на местности. Выбор способа отображения определяется в первую очередь характером пространственного распространения объектов и назначением карты. Кроме сказанного, значимы не только получение результатов с желаемой точностью, но и возможность делать необходимые выводы и прогнозы.

Методы – инструкции, нормативные документы (требования), правила, предписания, алгоритмы, направляющие деятельность по созданию геофизической картографической продукции.

Средства – технические средства, обеспечивающие картосоставительский процесс (персональные ЭВМ, программное обеспечение, сканеры, плоттеры и т. п.).

Современный этап развития прикладной МК в методологическом плане – это новый технологический этап, этап цифровой картографии с применением ГИС-технологий.

Рассматривая ПМК в контексте общей картографии, представляется логичным обратиться к некоторым методологическим аспектам цифрового картографирования как нового технологического уровня развития ПМК. К концу 1980-х годов, благодаря бурному развитию компьютерной техники, а также прогрессу в производстве измерительной аппаратуры и средств навигационного обеспечения съемок, начался новый этап аэрогеофизических исследований – этап компьютерных технологий

в регистрации, обработке и интерпретации аэромагнитных материалов. Современный этап развития картографии характеризуется большим спросом и соответственно большим объемом работ по созданию цифровых карт.

Цифровая картография представляет собой принципиально новый технологический уровень работ, характеризуемый качественно более высокими свойствами и комплексной автоматизацией картографического производства. Внедрение вычислительной техники в геологию и геофизику обусловило развитие новой информационной технологии, тесно связанной с созданием цифровых картографических моделей потенциальных геофизических полей. Цифровые методы сбора, обработки, хранения и графической визуализации геофизической информации предоставляют широкие возможности быстрой обработки измеренных параметров геофизических полей, интерактивного доступа к хранимой информации, автоматизации многочисленных трудоёмких картографических процессов. Автоматизация и компьютеризация картографического процесса дали толчок развитию цифрового картографического моделирования геофизических полей. Огромные массивы сводной геофизической картографической информации могут быть объединены в информационные системы различных иерархических уровней. Геофизические материалы являются материалами долговременного пользования. Однако полнота извлечения из них полезной геологической информации всё ещё недостаточна. Она увеличивается по мере совершенствования новых технологий.

Исходной методологической задачей цифрового геофизического картографирования являются уточнение и дополнение основных понятий магнитной картографии. В связи со сказанным под методологической основой будем понимать вопросы определения предметной прикладной МК как тематической направления науки. Для формирования понятийного аппарата цифрового картографирования необходимо определить предмет исследования, имея в виду следующие обстоятельства:

– цифровое картографирование должно иметь тот же предмет исследования, что и традиционная картография;

– различать объект познания и предмет исследования;

– основные понятия должны базироваться на позиции, ориентированной на исследование полученных измеренных данных.

Современные методы обработки аналоговых и цифровых магнитометрических и других геофизических данных открывают новые возможности в решении проблемных вопросов картосоставления.

В применении к геофизическому картографированию переход на новый уровень сопряжён с двумя основными технологическими процессами: цифровыми методами обработки аэромагнитометрической информации и созданием цифровых картографических моделей (ЦКМ) АМП разного масштаба.

С позиций теории познания в общей картографии карта рассматривается как пространственная, математически определённая и генерализованная образно-знаковая модель действительности. Обращение к понятию картографической модели вводит предмет исследования МК в систему общенаучных знаний. Рассмотрение карты АМП в качестве моде-

ли реальной физической действительности расширяет возможности процесса составления, использования и внедрения карт АМП в сопряжённые области научного знания, позволяет использовать весь исследовательский, понятийный и терминологический арсенал общей МК и влиться в общий геоинформационный поток.

Необходимо отметить, что современные автоматизированные картографические системы в свою основу включают типовые технологические модули, создаваемые с использованием цифровых интерактивных вычислительных комплексов, функционирование которых обеспечивается развитыми средствами дисплейной и графической периферии, а также специализированного информационного и программного обеспечения. Во ВСЕГЕИ разработана технология, ориентированная на использование двух главных программных продуктов: **Geosoft Oasis montaj**, который предоставляет масштабируемую среду для эффективного импорта, обработки, просмотра, анализа и совместного использования больших объемов геофизических, геохимических и геологических данных — все это в одной интегрированной среде, и **Arc Gis (Arc Map)**, осуществляющего картографические ГИС проекты. Комплексное использование модулей этих двух программ обеспечивает накопление, хранение, обновление, обработку цифровых картографических данных, создание картографических проектов в виде электронных карт, вывод на печать карт в традиционном виде. В программной среде **Geosoft Oasis montaj** многие проблемные вопросы — внутренней увязки, слияния, генерализации данных уже реализованы в виде соответствующих программ. Разработка касается выбора соответствующих программных реализаций **Geosoft Oasis montaj** под цели и задачи цифрового сводного мелкомасштабного картографирования, приспособления их для решения задач внешней увязки цифровых геофизических данных, интерполяции, картографической генерализации и приёмов слияния разрозненных разноформатных матричных данных в единую матрицу (формат) и выстраивания этих действий в определённую систему, обеспечивающую унификацию и стандартизацию процесса разномасштабного цифрового геофизического картографирования.

Однако процесс составления цифровых карт АМП имеет ряд особенностей. Основные проблемы заключаются в специфике природы магнитного поля, имеющего непредсказуемый (нелинейный) характер распределения, и в неравномерной плотности наблюдений, что затрудняет применение формализованных технологий. В настоящее время существуют многочисленные компьютерные технологии создания магнитных карт в изолинейной форме, результаты которых трудно сопоставимы. Это связано с неадекватностью алгоритмов гридирования исходным данным и пренебрежением к требованиям сводного картосоставления, позволяющими единообразно увязывать разнородные съемки. Эти проблемы особенно актуальны при обработке архивных (отчётных) данных мелкого и среднего масштабов. Общим недостатком автоматизированного построения магнитных карт является недостоверное в большинстве случаев отображение сложного поля. Это связано отчасти с тем, что интервалы сечения при автоматизированной реализации картосоставительского процес-

са постоянны на всей картографируемой площади с различными морфологическими типами полей, и удачное сечение для одного морфологического типа поля может быть неприемлемо для другого типа [12]. Одна из проблем автоматизации картосоставления заключается в том, что существующие алгоритмы интерполяции не всегда позволяют проследить аномалии от профиля к профилю с учетом их естественного изменения, особенно при диагональном простирании аномалий по отношению к съемочной сети. Это касается и изначально цифровых данных.

Пути совершенствования процесса автоматического построения магнитных карт лежат в области системного подхода к автоматизированному картосоставлению как к сложному технологическому комплексу взаимосвязанных картографических и математических приёмов, основанному на опыте создания традиционных карт и диалоге человека с машиной, который должен идти на понятийном уровне, привычном для человека. Это значит, что программные средства должны описывать предметную область так же, как это делает человек. Редактирование и корректуру карт, построенных на ЭВМ, как показывает зарубежный и отечественный опыт, необходимо совершать непосредственно в диалоговом режиме, работая с изображением на экране компьютера. Полная автоматизация процесса составления магнитных карт пока невозможна, поскольку задача создания магнитных карт разного масштаба решается в условиях неполного знания об изучаемых явлениях, которое человек в процессе поиска решения восстанавливает на основе уже имеющихся знаний и опыта. Формализация процесса возможна по мере накопления достаточного знания разнородных переменных.

Образно-знаковый или графический вид представлен геометрией рисунка, цветом, математическими построениями, символами, их логическими связями. Весьма существенное замечание делает Е. Е. Ширяев [19]: «Как только информация теряет свои графические и математические свойства, присущие картографической форме отображения, она перестаёт быть картографической информацией, превращаясь в другой вид информации». Другими словами, геофизическая информация в *.dat формате не содержит сведений о форме карты и поэтому не может считаться картографической информацией, потому что в ней отсутствуют признаковые свойства карты. Основным признаком карты являются коммуникативные свойства для зрительного восприятия.

На основании сказанного можно сформулировать понятие цифровой карты как карты, преобразованной в цифровой вид с содержанием в цифровой форме всех необходимых сведений, относящихся к понятию «карта». Е. И. Халугин и др. [17] отмечают, что цифровые карты «по содержанию, проекции, системе координат и высот, точности и разграфке (номенклатуре) должны полностью отвечать требованиям, предъявляемым к традиционным (стандартным) образно-знаковым картам». Такое слияние требований к образно-знаковым и цифровым картам, как справедливо утверждают авторы, обеспечивает наиболее высокую эффективность решения многих научных и практических задач в системах исследования, проектирования, управления, создавая уникальную возможность ассоциативно-образного восприятия и изучения

самых различных пространственно-логических отношений объектов действительности с одновременным быстрым проведением сложных математических расчётов и вычислений. Цифровые карты неотделимы от традиционных аналоговых и поэтому очень важно при создании автоматизированных картографических систем не гнушаться тем богатейшим опытом, который накопила аналоговая образно-знаковая прикладная МК.

Важная составляющая прикладной МК — осмысление методологических, гносеологических и семантических основ современной цифровой геофизической картографии как тематического научного направления, объединяющего феномен исследуемых геофизических явлений со способами отображения этих явлений в картографическом пространстве и времени.

Автоматизация процессов картографирования привнесла в картографическую науку понятия и термины математического моделирования, вычислительной математики, теории информации, теории знаковых систем, инженерной психологии и др. Остановимся на наиболее употребительных понятиях.

Для достижения цели терминологической однозначности обратимся к наиболее часто употребляемым терминам, закреплённым ГОСТ 28441–90 (Картография цифровая. Термины и определения, 1990. С. 1).

Цифровая картография — раздел картографии, охватывающий теорию и методы создания и практического применения цифровых карт и других цифровых пространственно-временных картографических моделей.

Цифровое картографирование — комплекс методов, технологий и процессов по созданию цифровых карт, атласов и других цифровых пространственно-временных картографических моделей.

Цифровая карта — цифровая модель карты, созданная путем цифрования *картографических источников*, фотограмметрической обработки *данных дистанционного зондирования*, цифровой регистрации данных полевых съёмок или иным способом; «цифровая модель земной поверхности, сформированная с учетом законов картографической генерализации в принятых для карт проекции, разграфке, системе координат и высот». **Цифровая карта** служит основой для изготовления обычных бумажных, компьютерных, электронных карт, она входит в состав *картографических баз данных*, она один из важнейших элементов информационного обеспечения ГИС и может быть результатом его функционирования.

Картографическая информация (КИ). В картографии это понятие несколько отличается от принятого толкования информации в шенноновской теории связи, где информация связывается непосредственно с сигналами сигнал — информация. Картографическая информация есть результат восприятия картографических образов (А. М. Берлянт, 1986). Такое определение подчёркивает, что картографическая информация возникает лишь в системе карта — читатель карты, *выступающей «распознающим устройством»*. Это понимание очень важно в методологическом аспекте развития автоматизированных картографических систем.

Базовые матрицы — матрицы, созданные с определённым шагом осреднения по результатам оцифровки базовых магнитных (гравиметрических) карт.

Оцифровка исходных карт (векторизация, растрово-векторное преобразование) — автоматическое или полуматематическое преобразование *растрового представления* пространственных объектов в *векторное представление* с помощью набора операций, включая, как правило, «скелетизацию» растровой записи линии, ее «утонышение», генерализацию с применением операторов разрядки, т. е. устранения избыточных промежуточных точек в цифровой записи линий (weeding), их сглаживания, упрощения рисунка, устранение разрывов, удаление «висячих» линий. Векторизация поддерживается специализированными программными средствами — *векторизаторами*.

Гридирование — перевод оцифрованных нерегулярных данных в узлы регулярной сетки в форматах *.grd.

Регуляризация данных — увязка данных (в том числе дрейпинг), пересчёт данных в регулярную сеть (матрицу), фильтрация, сглаживание. На данном этапе формируются объединённые (сводные) массивы матричных данных в форматах *.grd.

Редуцирование данных — устранение невязок в уровнях полей (расчёт невязок и ввод поправок), приведение к единой системе отсчёта аномалий (для магнитного поля — учёт нормального МПЗ заданной эпохи; для поля аномалий силы тяжести — выбор редукиции Буге, в сводном воздухе и др.).

Нерегуляризованные данные — оцифрованные контуры изолиний (графиков) с привязкой к заданной системе координат.

Теоретический и методологический аспекты прикладной МК носят многоуровневый характер, который приводит к тому, что исследователь в своей профессиональной деятельности сталкивается со сложными и противоречивыми познавательными конструкциями. Не затрагивая всего круга проблем МК, мы главное внимание направили на прояснение понятийной базы и структуры прикладной МК, на описание её формальных связей и элементов, на свойства и язык ПМК при отвлечении от конкретных высказываний и умозаключений.

Прикладная МК — новое перспективное направление в изучении структуры АМП, обеспечивающее решение геологических задач, поэтому многие теоретические и методологические аспекты ждут своего дальнейшего развития. В последние годы прикладная МК интенсивно развивается в русле формирования современных систем государственного геологического картографирования, обеспечивающих программу по изучению минерально-сырьевого потенциала страны и по использованию природных ресурсов в виде цифровой картографической основы АМП России м-ба 1 : 2 500 000, создаваемой в режиме мониторинга, а также геофизических основ (ГФО) Государственных геологических карт м-бов 1 : 1 000 000/3 и 1 : 200 000/2.

1. Асланикашвили А.Ф. Метакартография. Основные проблемы. — Тбилиси: Мецниереба, 1974. — 132 с.
2. Берлянт А.М. Картография. — М., 2001. — 336 с.
3. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. — М.: Мысль, 1986. — 240 с.
4. Владыко Т.И., Малышев Ю.Ф. О генерализации обзорных тектонических и геофизических карт // Принципы тектонического районирования. — Владивосток: АН СССР, ДВНЦ, 1975. — С. 38–49.

5. *Гармиз И.В.* Качество карт / под ред. Л.Е. Смирнова, Т.М. Петровой. — Л.: ЛГУ, 1990. — С. 20–21, 34–44.
6. *Глебовский Ю.С.* Методические рекомендации по средне- и крупномасштабной магнитной картографии. — Л.: ВИРГ-Рудгеофизика, 1990. — С. 32–33.
7. Карта аномального магнитного поля Арктического шельфа СССР масштаба 1 : 2 500 000 / под общей редакцией В.Н. Шимараева. — Л.: НИИГА, 1979.
8. Карта аномального магнитного поля континентальной части территории СССР масштаба 1 : 2 500 000 / под общей редакцией З.А. Макаровой. — Л.: ВСЕГЕИ, 1978.
9. Карта аномального магнитного поля (ΔT)а России и прилегающих акваторий (цифровая). Масштаб 1 : 5 000 000 / отв. ред. Т.П. Литвинова. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2004.
10. Карта аномального магнитного поля России и сопредельных государств с объяснительной запиской на карте. Масштаб 1 : 5 000 000 / отв. ред. Т.П. Литвинова. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
11. Колесова В.И. Аналитические методы магнитной картографии. — М.: Наука, 1985.
12. *Литвинова Т.П.* Особенности картографического отображения сложно-дифференцированного магнитного поля // Принципы магнитной картографии и методика составления карт: Сб. науч. статей. — Л., 1985. — С. 136–140. (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. серия, т. 337).
13. *Мартынова Г.И.* Система понятий магнитной картографии // Принципы магнитной картографии и методика составления карт: Сб. науч. статей. — Л., 1985. — С. 11–26. (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. серия, т. 337).
14. Принципы магнитной картографии и методика составления карт: Сб. науч. ст. / науч. ред. Ю.М. Эринчек. — Л.: ВСЕГЕИ, 1985. — 145 с. (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. серия, т. 337).
15. Справочник по картографии / под ред. Е.И. Халугина. — М.: Недра, 1988. — С. 31–35.
16. *Стрельников С.И., Бурдэ А.И., Путинцев В.К.* Геологическая картография — проблемы и пути совершенствования // Охрана и разведка недр. 1992. № 1. — С. 15–17.
17. *Халугин Е.И., Жалковский Е.А., Жданов Н.Д.* Цифровые карты / под ред. Е.И. Халугина. — М.: Недра, 1992. — С. 353–358.
18. *Чиков Б.М.* Тектоническое районирование: принципы, методология, картография. — М.: Недра, 1986. — 184 с.
19. *Ширяев Е.Е.* Картографическое отображение, преобразование и анализ геоинформации. — М.: Недра, 1984. — С. 11–25.

Литвинова Тамара Петровна — зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Tamara_Litvinova@vsegei.ru>.