

# ГЕОДЕЗИЯ КАК ОБЛАСТЬ ЗНАНИЙ

Ю.Е. Федосеев (НИЦ «Геодинамика» МИИГАиК)

В 1970 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-геодезист», затем работал на предприятиях Министерства среднего машиностроения СССР. В 1974 г. поступил в аспирантуру МИИГАиК и после защиты кандидатской диссертации работал на кафедре прикладной геодезии ассистентом, доцентом и профессором. С 2001 г. — главный инженер МЦГК (Роскартография), с 2005 г. — ведущий научный сотрудник НИЧ МИИГАиК, руководитель лаборатории «Центр геодезии и кадастра». С 2001 г. по настоящее время — эксперт НИЦ «Геодинамика» МИИГАиК в области инженерной геодезии.

Каждое новое рассмотрение фундаментальных проблем геодезии, так или иначе, приводит к необходимости установить исходные позиции дискуссии на современном уровне развития. В связи с этим, еще на начальном этапе, следует обозначить место геодезии как области знаний.

Любая область знаний имеет некоторую иерархию базовых понятий, определяющих остальные решения. К ним, в том числе, относятся:

- самоидентификация области знаний на ее современном этапе развития;

- система понятий и принятых обозначений, используемых при данном описании;

- структуризация понятий, в которых определяется данная область знаний.

Предлагается следующее современное видение геодезии как области знаний с учетом специфики рассматриваемой задачи.

**Геодезия — наука, предметом которой являются методы и средства изучения формы макротел, моделирование (описание) этой формы, учет ее изменений во времени и воссоздание в природе с учетом кривизны пространства измерений и построений.**

Коротко поясним смысл терминов, использованных в этом определении.

Под общим понятием — **методы и средства** — понимается следующая совокупность родовых понятий:

- изучение объективных законов и (или) создание класса

- моделей, позволяющих на некотором этапе познания и применения находить эффективные правила принятия решений;

- разработка оптимальных правил, последовательное исполнение которых приводит к решению поставленной задачи или созданию принципиальной схемы ее решения;

- создание технологий, т. е. последовательности действий с материальными объектами для достижения некоторой технической цели, получения конечного результата или продукции;

- применение знаний, правил и технологий при создании конкретной продукции или оказания услуги для удовлетворения потребностей потребителя.

Под **макротелами** понимаются материальные естественные или искусственные объекты, размеры которых таковы, что не представляется возможным решить поставленные задачи без создания специальных построений (сетей) для задания единой системы координат на весь объект исследований. Исторически первыми объектами изучения геодезии стали участки земной поверхности и вся Земля как планета.

Одним из основных понятий геодезии является понятие системы координат, причем оно существенным образом может отличаться от аналогичного, известного в математике. Для определения трехмерной системы координат в общепринятом смысле необходимо определить (назначить) начало счета, задать два исходных

направления и оговорить масштаб. Такая система координат может быть прямолинейной и прямоугольной, криволинейной и косоугольной, но смешение этих типов возможно только в геодезии. Например, при использовании декартовой системы координат, правила проектирования точки на координатные плоскости заимствуются из криволинейных систем, а масштабы по разным осям различны и зависят от численных значений координат. Возможны и иные комбинации. Отметим, что существенное значение имеет четвертая координата — время  $t$ . Кроме того, желательно знать численные значения в каждой произвольной точке потенциала силы тяжести  $G(x, y, z, t)$ . Т. е., приходится говорить о многомерности систем координат, используемых в геодезии.

В зависимости от решаемой технической задачи системы координат могут упрощаться. Так, при решении топографических задач традиционно используется прямоугольная трехмерная система координат, а иные параметры просто игнорируются. При создании высотной основы содержательным параметром является только нормальная высота  $H^y$ , а прочие можно рассматривать как адресную часть. При решении задач контроля прямолинейности и соосности в качестве системы координат используется прямая линия, соединяющая начальную и конечную точки створа, а определению подлежат два вектора, один

из которых лежит в горизонтальной плоскости и перпендикулярен упомянутой прямой линии, а второй — дополняет систему до прямоугольной. Возможны случаи, когда второй вектор совмещен с направлением силы тяжести. Рассматриваемые векторы несопоставимо малы по сравнению с длиной прямой, по отношению к которой они определены.

Под **моделированием** понимается метод опосредованного практического и теоретического оперирования объектами, при котором исследуется не интересующий нас объект, а используется вспомогательная искусственная или естественная система («квазиобъект») — модель.

*Замечание 1.* Модель никогда не будет точно совпадать с самим объектом. Всегда будет существовать некоторое отличие, описываемое вектором  $\epsilon$ , который можно рассматривать как случайный и характеризовать корреляционной матрицей  $K\epsilon$ , или как неслучайный, значения которого зависят от координат точек и потенциала силы тяжести.

*Замечание 2.* В качестве примера моделей можно привести топографический план (карту) — условное, генерализованное изображение земной поверхности и естественных и искусственных объектов, по которой можно составить мнение об изучаемой территории и принимать решения. Это пример пользовательской модели, иными словами конечной продукции топографо-геодезического производства. Однако для ее создания необходимо задать на всю моделируемую территорию единую систему координат, в которой будет зафиксировано положение объектов (но не всех, имеющих на данной территории). Это служебная, но необходимая информация, являющаяся частью базовой модели, на основании которой могут образо-

вываться различные пользовательские модели.

*Замечание 3.* Можно говорить о степени подробности той или иной пользовательской модели в зависимости от степени генерализации отображаемой информации. Недостаток информации делает модель бессмысленной, а излишняя перегруженность — неудобной для пользователя.

*Замечание 4.* Для создания базовой модели приходится выполнять геодезические измерения, что неизбежно связано с ошибками. Эти ошибки можно охарактеризовать корреляционной матрицей  $K\mu$ . Математическая обработка результатов измерений приводит, в конечном счете, к искажению параметров базовой модели, а затем и пользовательских моделей. Необходимо говорить о точности моделей, характеризуемой корреляционной матрицей  $K\rho$ , получаемой путем преобразования ковариаций из матрицы  $K\mu$  или путем косвенных оценок (включая, экспертные). Для решения большинства практических задач точность создания базовой модели не важна. В этом случае можно говорить, что базовая модель необходима только как адресная, т. е. определяющая местоположение объекта.

Под **изучением изменения формы исследуемых макротел** понимается получение численных характеристик изменений (деформаций) параметров модели и динамики их развития с оценкой точности параметров модели, порожденных различными источниками погрешностей:

— корреляционной матрицей  $K\epsilon$ ;

— корреляционной матрицей  $K\rho$ ;

— дискретностью геодезической информации.

Геодезическими методами можно определять только смещения отдельных точек, принадлежащих объекту, которые ока-

жутся отнесенными к конкретному моменту времени. Подобная геодезическая информация всегда является дискретным во времени и пространстве отображением объективного непрерывного процесса. Она имеет сложную структуру, которую применительно к решению задач исследования изменения формы можно описать следующей схемой:

— адресная компонента ( $x, y, z, t$ ), однозначно определяющая к какой точке и к какому моменту времени относится содержательная часть;

— содержательная часть ( $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$ ) — смещения контролируемой точки за промежуток времени  $\Delta t$ ;

— результаты вспомогательных измерений различных параметров объекта, которые предположительно могут оказаться коррелированными с величинами смещений.

Если величины  $\Delta x, \Delta y$  и  $\Delta z$  меньше  $2TK\rho$ , где коэффициент  $2$  обусловлен использованием разностей координат, а коэффициент  $T$  зависит от избранной доверительной вероятности, то можно говорить, что смещения рассматриваемой точки за период  $\Delta t$  незначимы.

Нормирование (назначение) интервалов  $\Delta t$  зависит от скорости протекания изучаемых процессов и от технологической точности измерительных операций (матрица  $K\mu$ ). С другой стороны, на измерение исследуемых параметров модели как в первый из сравниваемых моментов времени, так и во второй момент, необходимо некоторое время  $\delta t$ . Если смещения, произошедшие за это время, окажутся значимыми, то появится специфический источник искажения измеренных значений параметров. Так как адресная компонента содержит момент времени  $t$ , назовем его административным моментом, назначаемым по оговоренному правилу, а интервал времени  $\delta t$  — продолжи-

тельностью проведения измерений. Очевидно, что  $t$  должно лежать внутри  $\delta t$ .

В геодезии объекты изучения должны рассматриваться в динамике их развития. Сведение интервалов  $\Delta t$  к минимуму приводит к необходимости работы в режиме постоянного мониторинга, что выгодно для пользователя, но влечет резкое увеличение затрат. Ситуация существенно меняется за счет появления информационно-измерительных систем, позволяющих автоматизировать процессы сбора информации о протекающих деформационных процессах, но являющихся достаточно дорогими. Хотя разовые капитальные затраты на создание системы окупятся за счет удешевления процесса сбора информации.

Период  $\delta t$  также желательно свести к минимуму, что сопряжено не только с экономическими затратами, но и с технологическими возможностями используемого оборудования.

Выбор технологии, в свою очередь, ограничен допустимыми затратами, так что необходимо искать компромисс, т. е. оптимальное решение.

*Замечание 1.* Потребителю (заказчику) необходимо суждение (описание) о ходе процесса деформаций, а не массивы значений содержательной части информации ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ,  $\Delta t$ ). Переход от дискретной информации к непрерывным моделям связан с априорным суждением о характере изучаемого процесса. Существуют методы, не зависящие от априорных представлений. В том и в другом случае необходимо говорить об интерпретации результатов натуральных измерений, что является неотъемлемой частью процесса изучения деформаций.

*Замечание 2.* Изучение деформаций земной поверхности часто связывают с термином «геодинамика». Следует отметить, что геодезическими мето-

дами возможна оценка только кинематической составляющей, поэтому геодинамические исследования всегда должны носить комплексный, междисциплинарный характер.

Под **воссозданием формы макротел** понимается закрепление физическими телами в избранной (разбивочной) системе координат точек, принадлежащих еще не существующему сооружению.

При выполнении разбивочных работ, по сути, решаются две независимые задачи:

- размещение сооружения по отношению к окружающей среде в системе координат, в которой определена прилегающая территория и инженерные сети;
- определение взаимного положения осей сооружения, гарантирующее по точности воссоздание его проектной геометрии в декартовой плоской (горизонтальной) системе координат сооружения.

Под **учетом кривизны пространства измерений и построений** понимается два типа объективных процессов, неизбежно сопровождающих получение численных, метрических данных об изучаемых макротелах.

Физическая кривизна пространства измерений характеризуется следующими объективными явлениями:

- кривизной гравитационного поля, в котором выполняется оценка геометрических параметров изучаемого макротела;
- оптической неоднородностью среды, в которой приходится проводить измерения, приводящей к изменению (искривлению) траектории распространения электромагнитного излучения, в частности, света.

Математическая кривизна пространства измерений, в свою очередь, характеризуется:

- случайными и систематическими ошибками измерений, описываемыми в виде корреляционной матрицы  $K_{\Sigma}$ , и порожденных ею оценок;

- недостаточной строгостью применяемых алгоритмов математической обработки результатов измерений, при которой неучтенный фактор, приводящий к искажению представлений о точности конечных результатов, всегда можно описать матрицей  $K_p$ .

*Замечание.* Игнорирование кривизны пространства измерений и построений приводит к неопределенности (сомнительности) численных значений полученных параметров (конечных или промежуточных результатов), которое делает их менее достоверными.

Геодезия, как и любая другая область знаний, имеет границы. Однако они весьма размыты и неопределенны. С одной стороны, применение геодезических методов и средств для решения задач смежных отраслей знаний и техники можно одновременно трактовать как методы и средства этих отраслей знаний, если их использование носит регулярный характер и является неотъемлемой частью применяемых технологий. С другой — необходимое применение для решения задач геодезии средств и методов иных отраслей знаний на начальном этапе можно рассматривать как некоторую инновацию, если эти технологии не противоречат изложенному ранее понятию о макротелах. Затем, при устойчивом использовании в геодезических технологиях для решения широкого класса практических задач, их приходится признавать как методы и средства геодезии.

Геодезия является технической областью знаний, так как:

- направлена на удовлетворение конкретных потребностей изучения (моделирования) среды обитания;

- результаты, получаемые с использованием геодезических методов и средств, не могут быть признаны конечными, их всегда можно уточнить;

- затраты на повышение точности и подробности описа-

ния объектов ограничены технической необходимостью (актуальностью), которая подлежит регламентации.

Для надежного обеспечения выполнения технических функций геодезии необходим фундаментальный блок, объединяющий исходные предпосылки и определения и содержащий общую для данного объекта систему исходных данных, требуемых и достаточных для соединения технических решений и результатов натурных геодезических измерений в единое целое.

Так, например, для объединения результатов геодезических измерений, отнесенных к территории России, нужно иметь геодезическую опорную сеть и описание гравитационного поля в виде математических выражений или в виде массива числовых данных, распределенных в пространстве по некоторой, пусть и не регулярной, сетке. Пункты геодезической опорной сети требуется определить с надлежащей высокой точностью в единой трехмерной системе координат. Они должны быть известны с плотностью и точностью, достаточной для нахождения:

- пространственных координат любого геодезического пункта сети сгущения или их системы с точностью, необходимой для решения оговоренных выше технических задач;

- численного значения потенциала поля силы тяжести или его функций в любой точке, принадлежащей поверхности Земли, и ее окрестностях.

Упомянутый термин «точность» подразумевает наличие корреляционной матрицы ошибок численных значений пространственно распределенных данных. Эта информация не менее важна, чем численные значения, и должна обеспечивать надежное суждение как о положении пункта по отношению к началу счета, так и о степени

обусловленности взаимного положения пунктов.

Естественно, что рассматриваемые данные должны быть отнесены к некоторому декларируемому моменту времени. В силу динамических процессов, свойственных всем деформируемым объектам, в том числе и планетам, будут происходить изменения положения пунктов, зафиксированных на этих объектах. До тех пор, пока не будут выполнены измерения, необходимые и достаточные для обновления оговоренных пространственно распределенных данных, смещения можно прогнозировать по некоторым моделям. Однако при этом необходимо вносить коррективы в численные значения элементов корреляционных матриц, так как любое моделирование и, тем более, экстраполирование, неизбежно ведет к понижению степени доверия к численным данным, полученным с использованием этих преобразований.

Необходимо рассматривать две взаимосвязанные области задач, стоящих перед геодезией:

- внешние, связанные с созданием продукции как результата геодезической деятельности и оказанием услуг потребителям;

- внутренние, связанные с поддержанием и развитием геодезии, такие как фундаментальные исследования по перспективным направлениям, подготовка и переподготовка кадров, способных вести работы на современном уровне, поддержание и развитие системы нормативно-методических документов, обеспечивающих взаимосвязь различных работ.

Задачи, решаемые геодезическими методами, как научные, так и производственные, можно классифицировать по уровням сложности. Предлагаемая классификация, сложившаяся по результатам многолет-

них исследований обсуждаемых проблем, приведена в таблице. Классификация подразумевает рассмотрение каждой задачи по семи параметрам. Если хотя бы по одному параметру задача относится к более высокому уровню, то ее следует признать соответствующей этому уровню и подбирать исполнителей необходимой квалификации. Подавляющее большинство геодезических задач относится к первому и второму уровню, т. е. лежит в области топографо-геодезического производства. Для повышения экономической эффективности необходимо стремиться к понижению уровня сложности задач. Для этого необходимо, чтобы верхние уровни своевременно и в полном объеме снабжали производство новыми технологиями и совокупностью решений, из которых можно было бы сформировать новые прогрессивные технологии. Естественно, квалификация исполнителей должна позволять решать текущие производственные задачи на должном уровне с учетом всех перечисленных особенностей геодезии как отрасли знаний.

К сожалению, последний исторический этап развития характеризуется разрушением необходимой связи между современными методами и средствами геодезических измерений и существующей нормативно-технической документацией, когда использование новых технологий, не предусмотренных инструкциями, трактуется как нарушение. Назрела настоятельная необходимость обеспечения геодезического производства полной современной нормативно-методической базой. Разработанные предложения должны носить не рекомендательный, а обязательный характер, и в то же время быть сформулированы таким образом, чтобы не препятствовать использованию новых технических воз-

## Классификация научных и производственных задач, решаемых геодезическими методами

Наименование параметра	Уровень сложности				
	1	2	3	4	5
<b>Класс задач</b>	Использована готовая формулировка задачи	Выбрана одна из подзадач, частная задача	Изменена исходная задача (новый подход)	Новая задача	Новая проблема
<b>Поисковая концепция</b>	Использована готовая конструкция	Выбрана одна из известных поисковых концепций	Поисковая концепция изложена применительно к условиям задачи	Найдена новая поисковая концепция	Найден новый метод решения
<b>Информационное обеспечение</b>	Использованы известные сведения (справочник)	Собраны сведения из нескольких источников	Собранная информация обработана применительно к новой задаче	Получены новые сведения, относящиеся к задаче	Получены новые данные
<b>Необходимый тип решения</b>	Использовано готовое решение	Выбрано одно из нескольких известных решений	Изменено известное решение	Найдено новое решение	Найден новый принцип
<b>Оборудование</b>	Использована известная измерительная аппаратура	Выбран один из нескольких однотипных приборов	Изменена исходная конструкция	Создана новая конструкция, технология	Созданы новые конструктивные принципы
<b>Технология</b>	Использована известная технология	Использована модификация чего-то известного	Внедрена новая технология, новый прибор	Конструкция применена по-новому	Изменена вся технология на основе новых решений
<b>Квалификация</b>	Техник	Инженер	Старший инженер, м.н.с., магистр	С.н.с., к.т.н.	В.н.с., д.т.н.
<b>Объем в общем числе встречающихся задач</b>	32%	45%	19%	4%	≈0,3%

**Примечания.**

1. Таблица в данной редакции не содержит квалификационных требований к исполнителям, имеющим ученые степени «бакалавр» и «магистр», так как специальность «геодезия» относится к ветви образования, определяемого в дореволюционной России как «реальное», в то время как упомянутые ученые степени относятся в той же классификации к «классическому» образованию.
2. При описании третьего уровня сложности задач в качестве исполнителя, наряду со старшим инженером, упомянут магистр. При этом подразумевается, что это специалист, имеющий «реальное» образование, но проучившийся в высшем образовательном учреждении (техническом университете) в совокупности не менее 6 лет.

возможностей для решения геодезических задач.

Представленная в настоящей работе концепция, безусловно, имеет полемический характер. Содержание отдельных положений было сформулировано несколько десятилетий назад, по настоянию доктора технических наук, профессора В.Е. Новака. В частности, тогда был создан первый вариант таблицы и подготовлены первые варианты определений.

Естественно, что за прошедшее время многие положения

претерпели неоднократное редактирование в результате многочисленных дискуссий по данной теме. Последние правки в текст были внесены после заседания «круглого стола» «Фундаментальные проблемы геодезии и картографии», состоявшегося в рамках юбилейных мероприятий, посвященных 230-летию МИИГАиК 27 мая 2009 г. (см. «Геопрофи». — 2009. — № 3. — С. 43–44).

Автор надеется на обсуждение данной темы и конструктивную критику.

**RESUME**

A contemporary understanding of the «geodesy» notion as the field of knowledge is introduced. This field's subject covers methods and means of studying macro bodies' shape, this shape simulation (description), consideration of its dynamics in time together with its real reconstruction with due consideration to the curvature of space of measurements and constructions. Classification of the levels of complexity of the scientific and production tasks solved with geodetic methods is offered.