

УДК 528.9

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-19-30>

## Об измерительно-геоинформационном пространстве

Л. А. Липатников<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

e-mail: lipatnikov\_l@mail.ru

**Аннотация.** В статье предложен подход к решению проблемы, проявляющейся в значительном снижении точности пространственной информации при ее интеграции в единое геоинформационное пространство территории России. Если погрешности создания и геодезической привязки исходных пространственных моделей не превосходят уровня первых сантиметров, то при интеграции моделей на обширной территории погрешности зачастую возрастают до первых метров. Эта проблема часто ассоциируется с использованием ансамбля координатных основ WGS84 в качестве реализации единой системы координат геоинформационного пространства. В статье показано, что первопричиной проблемы является не столько выбор системы координат, сколько потеря значимых метаданных, из-за чего невозможно отследить происхождение пространственной информации, обеспечить адекватную оценку ее точности и учесть значимые геодинамические эффекты. При сохранении прослеживаемости любая информация может быть восстановлена из геоинформационного пространства с исходной точностью. Однако на практике обеспечение прослеживаемости затруднено из-за недостаточности идентификации пространственно-временной отсчетной основы и отсутствия единой исчерпывающей классификации методов обработки первичных данных, обеспечивающей строгую оценку точности результатов. Для решения проблемы предложен подход, согласно которому процесс интеграции данных рассматривается обобщенно как последовательное уточнение и расширение отсчетной основы в измерительно-геоинформационном фазовом пространстве. При таком подходе на каждом этапе версия отсчетной основы однозначно идентифицируется, а необходимая информация о связи версий содержится в блочной структуре решаемой системы уравнений и ковариационной матрице результатов. Предложенный подход позволяет перейти от монолитной архитектуры геоинформационного пространства к композитной, в которой возможно проследить и при необходимости воспроизвести цепочку преобразования и дополнения информации с адекватной оценкой точности на каждом этапе. Обоснованы технологические решения для формирования и долговременного поддержания геоинформационного пространства территории России с исходной точностью геодезических измерений не грубее первых сантиметров.

**Ключевые слова:** отсчетная основа, фазовое пространство, координатно-временное и навигационное обеспечение, навигационное поле, геоинформационное пространство

### Для цитирования:

Липатников Л. А. Об измерительно-геоинформационном пространстве. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 1. С. 19–30. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-1-19-30>

## The observation and geoinformation space: an overview

L. A. Lipatnikov<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: lipatnikov\_1@mail.ru

**Abstract.** The paper addresses the substantial loss of spatial data accuracy during integration into a unified geoinformation space for Russian territory. Initial errors in source model creation and geodetic tying seldom exceed centimeters, yet large-scale integration frequently amplifies them to meters – a problem often misattributed to the WGS84 coordinate ensemble. It is demonstrated that the primary cause is metadata loss, impeding origin tracing, accuracy assessment, and geodynamic effect accounting. Preserved traceability enables original-precision retrieval, but practical challenges arise from inadequate spatiotemporal reference identification and lacking standardized primary data processing classifications. The proposed solution reframes integration as sequential reference frame refinement within a measurement-geoinformation phase space. Each frame version is uniquely identified, with inter-version linkages encoded in the block-structured equation system and result covariance matrix. This facilitates a transition from monolithic to composite architectures, enabling full traceability, reproducible transformations, and per-step accuracy evaluation. Technological implementations sustain centimeter-level geodetic precision for Russia's geoinformation space.

**Keywords:** reference frame, phase space, positioning navigation and timing, navigation field, geoinformation space

### For citation:

Lipatnikov L. A. (2026). The observation and geoinformation space: an overview. *Vestnik SSUGiТ [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 1. pp. 19–30. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-31-1-19-30>

### Введение

На протяжении последних десятилетий развитие комплекса технологий пространственно-информационного (геодезического, геофизического, координатно-временного, навигационного и геоинформационного) обеспечения происходило в рамках различных концепций, каждая из которых представляла основное средство отдельного вида обеспечения. В рамках геоинформационного обеспечения существует концепция единого геоинформационного пространства как совокупности интегрированных пространственных информационных моделей геопространства, представленных в единой системе координат, в одном формате, на основе общих стандартов идентификации, классификации и кодирования [1]. В смежных технологических областях сосуществуют концепции Единой системы (ЕС) координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) [2], Глобальной системы систем наблюдения за

Землей (GEOSS), включающей Глобальную геодезическую систему наблюдения (GGOS). Геодезическое обеспечение в России реализуется «через государственную координатную основу и структуру государственных сетей», согласно Концепции развития отрасли геодезии и картографии до 2020 г. (Об утверждении Концепции развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года : Распоряжение Правительства РФ от 17.12.2010 № 2378-р. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный). Все указанные концепции создавались для того, чтобы для обширной территории на длительном интервале времени оптимизировать сбор, обработку и использование первичных данных и геопространственной информации для изучения соответствующих предметных областей и принятия решений на единой технологической основе, а также для обеспечения ее комплексного развития.

Проблема заключается в том, что несмотря на общую интеграционную направленность, существующие концепции и разви-

ваемые в их рамках средства остаются разрозненными, что приводит к потерям и снижению эффективности использования ценной информации. Рассмотрим данную проблему на примере задачи создания на всей территории России Единого геоинформационного пространства (ЕГИП), соответствующего по точности интегрируемым цифровым моделям местности и лежащим в их основе геодезическим измерениям. Технологии геодезических измерений позволяют создавать и привязывать к общеземной системе координат (ОЗСК) цифровые модели местности с погрешностями от первых миллиметров до первых сантиметров в зависимости от цели и применяемых средств. Такие возможности существуют уже не первое десятилетие. Однако интеграция высокоточных моделей в ЕГИП осуществляется с погрешностями на уровне первых метров, что будет рассмотрено далее.

Целью статьи является формирование подхода, который позволит на всей территории России создать стабильное геоинформационное пространство, соответствующее по точности геодезическим измерениям.

### ***Проблема прослеживаемости***

Примером ЕГИП территории России является Единая электронная картографическая основа Национальной системы пространственных данных. Также в качестве примеров ЕГИП могут рассматриваться совокупные цифровые модели территории России, доступ к которым предоставляется такими сервисами, как OpenStreetMap, Яндекс.Карты, 2ГИС.

Архитектура большинства современных реализаций ЕГИП ограничивает точность представления положения объектов на уровне первых метров, что сужает область их применения. Ограничение уровня точности становится очевидным, если принять во внимание то, что в качестве единой системы координат ЕГИП, как правило, используется WGS84. Сведения о применяемых системах координат можно найти в документации сервисов или в стандарте (ГОСТ Р 71283–2024. Инфраструктура пространственных данных.

Единая электронная картографическая основа. Форматы данных и системы координат. – М., 2024).

Очевидно, что использование WGS84 ориентировано на обеспечение совместимости со средствами спутниковой навигации, а также с форматами геоданных, применяемых в существующих геоинформационных системах (ГИС). Однако выбор WGS84 в качестве единой системы координат при создании ЕГИП означает, что потенциально высокоточная пространственная информация при ее интеграции огрубляется до нескольких метров по следующим причинам. Во-первых, без указания способа определения координат в WGS84 следует исходить из того, что эти координаты определены грубо, вероятно, абсолютным методом, так как непосредственного доступа к высокоточной координатной основе в этой системе координат у потребителей не было на протяжении десятилетий. В результате разброс возможных величин погрешностей – от первых миллиметров до нескольких метров. Во-вторых, WGS84 – общее название ансамбля координатных основ, т. е. разных реализаций одной системы координат. Отсутствие указания конкретной версии WGS84 приводит к неопределенности положения не менее 0,6 м. В-третьих, WGS84 – динамическая общеземная система координат, в которой все точки земной поверхности движутся и координаты относятся к эпохе их определения, без указания которой неопределенность положения достигает 0,9 м (на интервале применения ГНСС-технологий примерно с 1990 г. при скоростях точек земной поверхности ~ 2,5 см/год на территории России). В-четвертых, часто используемые спецификации WGS84 (EPSG 4326, 3857) представляют собой двумерные проекции, не предполагающие хранение высоты, без которой строгие высокоточные преобразования координат невозможны. Таким образом, проблема проявляется в потере исходной точности при интеграции пространственной информации в единое геоинформационное пространство.

Причина возникновения проблемы заключается в потере значимых данных (геодезических высот) и метаданных (конкретной идентификации исходной координатной ос-

новы, метода обработки данных, ковариационной матрицы координат и эпохи их определения). В геоинформационном обеспечении от этих деталей, как правило, абстрагируются, подменяя реалистичную оценку точности формальной. Например, оценка точности WGS84 как ансамбля координатных основ, согласно базе EPSG, составляет 2 м. Пользователи вынуждены исходить из того, что такую точность имеет вся пространственная составляющая геоинформации, представленная в такой системе координат.

Покажем, что причина проблемы именно в структуре метаданных ЕГИП, а не в выборе конкретной единой системы координат. Предположим, есть спутниковая геодезическая сеть, координаты пунктов которой определены относительно ITRF в результате уравнивания геодезических измерений с погрешностями на уровне первых миллиметров. Преобразовав эти координаты, например, в WGS84 или в СК-42, получим новый каталог координат и высот, который вынуждены считать грубым из-за «фоновых» погрешностей реализации этих систем координат. Однако имея возможность отследить происхождение этой геоинформации в ЕГИП и сохранив значения высот, мы всегда можем выполнить обратное преобразование и получить с практически первоначальной точностью значения исходных координат. Таким образом, потеря точности происходит не из-за преобразования в «низкоточную» систему координат, а из-за потери данных (в этом случае – значений высот) и метаданных, позволяющих установить происхождение геоинформации, т. е. идентифицировать исходную отсчетную основу и метод получения геоинформации с исходной оценкой точности. В рассмотренном примере речь шла о позиционной точности, однако в общем случае проблема и ее решение через обеспечение прослеживаемости относятся к точности геоинформации в целом, включая временную и атрибутивную составляющие.

### **Обобщенная отсчетная основа**

Идентификация отсчетной основы и метода получения геоинформации, необходи-

мая для обеспечения прослеживаемости, на практике проблематична. Во-первых, отсутствует общепринятая и исчерпывающая классификация методов обработки результатов измерений – такая, на основании которой можно было бы однозначно оценивать точность результатов. Во-вторых, в зависимости от применяемого метода могут использоваться разные наборы исходных данных, не все из которых входят в понятие отсчетной основы и поэтому остаются непрослеживаемыми.

В качестве решения проблемы может быть использован следующий подход. Возможно описать происхождение геоинформации, используя понятие отсчетной основы в фазовом пространстве и обобщенный математический аппарат преобразования первичных данных (измерений) в пространственную информацию (оценки параметров).

Отсчетная основа в комплексе наук о Земле рассматривается в физическом пространстве-времени, в котором положение материальных точек характеризуется моментом времени и координатами [3, 4]. Далее отсчетную основу будем называть пространственно-временной.

В фазовом пространстве каждая точка представляет определенное состояние динамической системы (ДС). Координаты точек и моменты времени – часть параметров этого состояния. Например, рассматриваемая в космической геодезии ДС включает космические аппараты, наземные измерительные пункты, а также источники возмущающих воздействий, проявляющихся в результатах измерений  $\tilde{\varphi}$  различных величин  $\varphi$ . Далее будем рассматривать ДС, включающую всю совокупность инфраструктуры всех возможных пространственных измерений (не только спутниковых) и эффектов, проявляющихся во всех этих измерениях.

Пусть состояние ДС в контексте решаемых задач полностью описывается вектором параметров  $\mathbf{p}$ . Каждому параметру соответствует одна ось фазового пространства. Функция  $f(\mathbf{p})$  связывает вектор параметров  $\mathbf{p}$  со скалярной величиной  $\varphi$ , которая может быть доступна для измерения

$$f(\mathbf{p}) = \sum_q f_q(\mathbf{p}) = \varphi. \quad (1)$$

В геодезии в такой форме могут быть представлены уравнения измерений или, например, модели гравитационного поля. Множество  $F$  различных функций может представлять собой единую систему уравнений единого вектора  $\mathbf{p}$ , связанного с вектором  $\Phi$

$$F(\mathbf{p}) = \Phi. \quad (2)$$

Модель (2) используется для решения двух типов задач:

- 1) расчет вектора значений  $\Phi$  по априорно известным параметрам  $\mathbf{p}_a$ ;
- 2) уточнение части параметров  $\mathbf{x}$  из вектора  $\mathbf{p}$  по вектору измеренных значений  $\tilde{\Phi}$  и вектору априорно известных параметров  $\mathbf{p}_a$ .

В обеих задачах используется вектор  $\mathbf{p}_a$ , который удобно представить в виде двух блоков:  $\mathbf{d}$  – вектор значений параметров по умолчанию, которые не нуждаются в уточнении, вектор  $\mathbf{x}_a$  априорных приближенных значений уточняемых параметров  $\mathbf{x}$ .

Для решения задачи оценивания в общем случае нелинейная модель (2) линеаризуется, т. е. приводится к виду

$$\mathbf{A} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}_a) + \mathbf{r} = F(\mathbf{x}, \mathbf{d}) - F(\mathbf{x}_a, \mathbf{d}), \quad (3)$$

где  $\mathbf{A} \equiv \left. \frac{\partial F(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\mathbf{x}_a}$  – матрица плана;

$\mathbf{r}$  – вектор остаточных членов разложений функций  $F(\mathbf{x}, \mathbf{d})$  в ряды Тейлора до первой степени в области точки  $\mathbf{x}_a$ , включающий всю нелинейную составляющую модели.

Заменяя  $F(\mathbf{x}, \mathbf{d})$  на вектор измеренных значений  $\tilde{\Phi}$ , систему уравнений (2) решают методами линейной алгебры. Если остаточные невязки, включающие погрешности измерений и нелинейную часть  $\mathbf{r}$ , считаются заведомо незначимыми и приравниваются к нулю, речь идет о разложении в ряд. При значимой нелинейной составляющей  $\mathbf{r}$  она может быть смоделирована с помощью непараметрических методов машинного обучения, в том числе с использованием нейронных сетей. Как правило, остаточные невязки необходимо оценивать, и в этом случае решение выполняется

методом наименьших квадратов, в результате чего получается уточненный вектор параметров  $\mathbf{p}$ , содержащий исправленные значения  $\mathbf{x}$  с учетом оценок поправок к априорным значениям  $\mathbf{x}_a$ , и неизменный вектор параметров по умолчанию  $\mathbf{d}$ . Причем с использованием рекуррентного метода наименьших квадратов, предполагающего комбинирование систем нормальных уравнений, решение задачи может выполняться путем постепенного уточнения отдельных групп параметров на основе отдельных порций измерительной информации.

С помощью уравнения (3) удобно продемонстрировать физический смысл вектора  $\mathbf{p}_a$ , состоящего из блоков  $\mathbf{x}_a$ ,  $\mathbf{d}$ , и определить обобщенную отсчетную основу по аналогии со сдвигом начала одной системы координат относительно другой в формуле Гельмерта.

Обобщенная отсчетная основа – априорно известная единая точка отсчета в дуальной системе отсчета, заданной совокупностью функций  $F$ :

- 1)  $\mathbf{p}_a$  – точка отсчета в пространстве параметров ДС;
- 2)  $F(\mathbf{p}_a) = \Phi$  – соответствующая точка в пространстве значений функций  $F$ .

Заметим, что это определение не является новым, а наоборот, соответствует буквальному смыслу латинского слова *datum*, дословно «данное» в единственном числе [5], от которого геодезия отошла в сторону более конкретных, узких определений «исходных геодезических дат» как трех параметров ориентировки эллипсоида относительно тела Земли (ГОСТ 22268–76. Геодезия. Термины и определения. М., 1980) или, в более современном стандарте (ISO 19111:2019. Geographic information – Referencing by coordinates), совокупности параметров, определяющих положение начала, ориентировку осей и масштаб системы координат. Приведенное определение обобщенной отсчетной основы включает эти частные случаи.

Применительно к уравнениям измерений вектор  $\mathbf{p}_a$  содержит всю априорно известную информацию, в том числе ту, которая всегда фактически ассоциировалась с конкретной пространственно-временной отсчетной осно-

вой, но формально в нее не включалась. Например, к отсчетной основе IGS20 относят одноименную координатную основу, реализуемую моделями движения станций и эфемеридами спутников, и шкалу времени, реализуемую поправками их часов. При этом за рамками IGS20 как пространственно-временной отсчетной основы остается набор совместимых с ней моделей различных метрологических и геофизических параметров, часть из которых также имеет обозначение «IGS20», используемых для расчета априорно известных поправок к измерениям. Часто из вида теряется тот факт, что все эти модели являются единым целым и должны применяться совместно.

Объединение всех фрагментов единого «данного» в понятие обобщенной отсчетной основы с однозначной идентификацией позволит обеспечить согласованность процессов создания и обработки информации с сохранением и постепенным повышением точности.

### *Измерительно-оценочное поле*

Измерительно-оценочным полем (ИОП) будем называть область пространства, в которой условия для оценивания набора параметров  $x$  по измеряемым величинам  $\varphi$  характеризуются некоторыми показателями доступности, надежности и точности. Частным случаем ИОП является навигационное поле глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) – совокупность радионавигационных сигналов в рабочей зоне системы, позволяющая проводить измерения навигационных параметров и определение местоположения, составляющих вектора скорости и времени с требуемым уровнем доступности, надежности и точности (ГОСТ 32454–2013. Глобальная навигационная спутниковая система. Параметры радионавигационного поля. Технические требования и методы испытаний). В навигации принято выделять различные искусственные и естественные навигационные поля. ИОП расширяет понятие навигационных полей на случай оценивания по всем доступным видам измерений произвольного набора параметров, которые в общем случае относятся не только к наблюдателю, но

и к другим пространственным предметам, объединенным в понятие динамической системы.

С теоретической точки зрения введение понятия ИОП представляется целесообразным, так как существует ряд современных технологий измерений и обработки их результатов, которые являются ключевыми для повышения эффективности геодезического обеспечения и могут быть представлены в контексте ИОП, но не вписываются в традиционную концепцию, основанную исключительно на структуре государственных сетей. Один из примеров геодезического обеспечения без непосредственной привязки к геодезическим сетям – определение координат по ГНСС-измерениям методом Precise Point Positioning (PPP), в котором обобщенная отсчетная основа представлена эфемеридами космических аппаратов, поправками их часов и различными согласующими параметрами, но не координатами геодезических пунктов. Также существует перспективный класс кооперативных [6] или коллаборативных [7] технологий позиционирования, основанных на обмене данными между пользователями, что позволяет им самостоятельно формировать динамическую инфраструктуру высокоточного позиционирования.

С практической точки зрения понятие ИОП удобно, так как во многих случаях позволяет пользователю абстрагироваться от конкретной инфраструктуры (например, геодезических сетей), конкретных видов измерений и методов их обработки. Пользователь может опираться на некоторую общую методологию, которая в зависимости от постановки задачи (состава искомых параметров и доступных для измерения величин) предопределяет выбор метода и адаптацию алгоритма решения задачи. Примером формирования ИОП являются технологии определения координат по ГНСС-измерениям Trimble RTX xFill и Leica SmartLink Fill, позволяющие пользователю в режиме реального времени автоматически переключаться между относительным методом Real-Time Kinematic (RTK) и PPP при потере сигнала с базовой станции. Таким образом формируется высокоточное бесшовное измерительно-оценочное (в дан-

ном случае навигационное) поле, в котором пользователю не требуется выбирать метод оценивания координат.

Отдельно необходимо отметить технологию одновременной локализации и картографирования, широко известную как SLAM (Simultaneous Location and Mapping), позволяющую полностью автоматически создавать цифровую модель местности, обновлять ее и ориентироваться в ней. Такие технологии позволяют роботизированным транспортным системам осуществлять навигацию на основе интеграции инерциальных систем, спутниковой навигации и машинного зрения. Данная технология является примером того, что в общем случае все содержимое геоинформационного пространства может использоваться в качестве отсчетной основы. При этом появление большого числа беспилотных транспортных средств, реализующих технологию SLAM, представляет огромные возможности для постоянного, полностью автоматического обновления геоинформационного пространства.

### Измерительно-геоинформационное пространство

Понятие ИОП может использоваться в качестве основы интеграции технологий, связанных со сбором и математической обработкой первичных данных и преобразованием их в оценки параметров (геоинформацию). Дальнейшее хранение и применение геоинформации для моделирования сложных предметов и явлений, их анализ и выработка пространственных решений происходит на базе концепции геоинформационного пространства. Рассматриваемая в данной статье проблема возникает при переходе от ИОП к геоинформационному пространству – на стыке геодезического и геоинформационного обеспечения.

Необходимо отметить, что связь геодезического и геоинформационного обеспечения может рассматриваться по-разному различными исследователями. С момента появления первых ГИС в 1960-х гг. [8] для их наполнения использовалась заранее подготовленная пространственная информация, включающая готовые карты. Процесс обработки первичных данных, в том числе геодезических изме-

рений, может рассматриваться вне геоинформационного пространства [1]. В геоматике существует альтернативный подход, согласно которому сбор, хранение, обработка исходных измерительных данных и дальнейшее использование результатов рассматриваются как звенья единой технологической цепи [9]. Программные средства, реализующие такой подход, сочетают некоторые функции математической обработки измерений и пространственного моделирования, обеспечивая прослеживаемость происхождения пространственной информации в рамках отдельных технологических цепочек, на отдельных объектах, в отдельных проектах. Для обеспечения прослеживаемости в геоинформационном пространстве территории России в целом этого недостаточно.

Для устранения первопричины проблемы потери метаданных и деградации точности пространственной информации требуется представить взаимодействие ИОП и геоинформационного пространства в рамках единого целого. Во избежание путаницы, учитывая существование различных подходов, будем называть это целое измерительно-геоинформационным пространством (ИГП). ИГП представляет собой практическую реализацию дуального фазового пространства, в котором состояние ДС представляется результатами измерений и оценками параметров. Структура ИГП представлена на рис. 1.

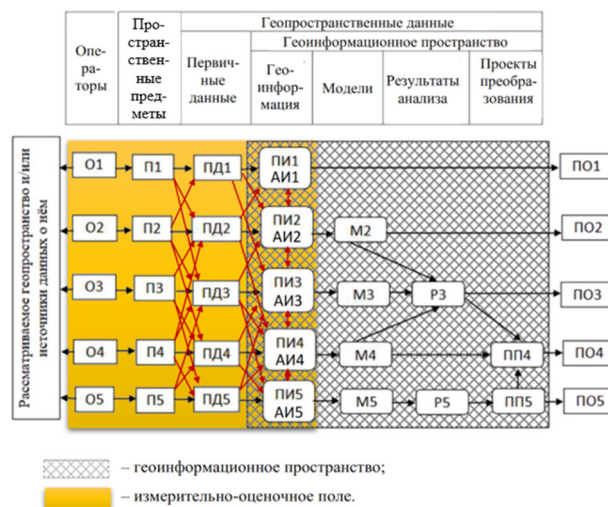


Рис. 1. Измерительно-оценочное поле и геоинформационное пространство

В отличие от взятого за основу варианта структуры геоинформационного обеспечения [1], на рис. 1 показано, что пространственные предметы связаны одновременно с множеством первичных данных (величин  $\Phi$ ), а те в свою очередь с множеством параметров  $\mathbf{p}$ , представляющих собой геоинформацию: пространственную (ПИ) и атрибутивную (АИ). Например, в космической геодезии каждая измеряемая величина связана с множеством параметров, характеризующих не только положение наземных измерительных пунктов и навигационных космических аппаратов, но и в разной степени состояние всех пространственных предметов, входящих в понятие ДС. Фактически такой поход развивается отдельно от геоматики и на протяжении более полувека успешно используется для получения самой разной геодезической и геофизической информации: от параметров вращения и гравитационного поля Земли [10, 11] до уточненных прогнозов погоды [12]. При этом разные элементы геоинформации также взаимозависимы, так как при определении части из них остальная геоинформация выступает в роли отсчетной основы.

Следует заметить, что с момента формулирования концепции геоинформационного обеспечения, представленной в монографии [1], значительно возросла степень автоматизации сбора и обработки данных. В качестве примеров можно выделить технологию SLAM, сети постоянно действующих базовых станций ГНСС, технологии дистанционного зондирования Земли. В указанных примерах сбором измерительных данных занимаются не столько специалисты, как это предполагалось ранее, сколько автоматические измерительные комплексы. Все большая доля пространственных измерений выполняется не по заданию пользователя, а постоянно в фоновом режиме. Средства сбора первичных данных, как правило, интегрированы и объединяют разные виды измерений, выдают не только первичные данные, но и во многих случаях готовую к использованию геоинформацию. Зачастую эти системы способны также обновлять модели местности и выдавать решения, например, по управлению беспилотной техникой.

Таким образом, концепция геоинформационного обеспечения на базе геоинформационного пространства нуждается в обновлении и дополнении. В качестве такого обновленного и дополненного варианта и предложено понятие ИГП как совокупного средства всех видов пространственно-информационного обеспечения, включая геодезическое, геофизическое, координатно-временное, навигационное и геоинформационное. Максимально эффективная реализация этих видов обеспечения – цель ИГП как системы. Взаимодействие элементов ИГП состоит в следующем: в ИОП геоинформация формируется на основе первичных данных, затем она частично хранится и обрабатывается в геоинформационном пространстве и может быть использована одним из двух способов: 1) как основа для выработки пространственных решений; 2) как основа для создания новой геоинформации в ИОП. Таким образом, пространственная информация циркулирует между ИОП и геоинформационным пространством. В качестве ресурса ИГП может быть условно выделена ценная информационная составляющая, содержащаяся в некотором количестве в первичных данных измерений, концентрируемая в оцениваемых параметрах, накапливаемая по мере их уточнения и утрачиваемая вместе с ними или с их метаданными.

Ценность предложенного концептуального подхода заключается в том, что он позволяет рассмотреть в целом всю совокупность разных видов пространственно-информационного обеспечения в их взаимодействии с точки зрения динамики накопления и потерь ценной информации, выявить факторы, определяющие эту динамику, сформулировать подход к решению проблемы прослеживаемости и на этой основе оптимизировать дальнейшее развитие технологий пространственно-информационного обеспечения.

### ***Механизм накопления ценной информации***

Использование понятия ИГП позволяет оценивать и оптимизировать динамику аккумуляции и использования ценной измерительной информации. Эта динамика определяется жизненным циклом информации,

включающим ее создание, хранение, обработку и обновление (замещение или уточнение). Необновляемая информация со временем устаревает и теряет свою полезность. Цикл с замещением устаревшей информации применяется, например, в топографии. Такая замещаемая информация после обработки используется для принятия решений, а ценность ее многократного использования в качестве отсчетной основы, как правило, ниже.

Цикл с уточнением информации позволяет накапливать, концентрировать ее в оценках параметров. Такой подход реализуется в фундаментальном сегменте КВНО, например, в продуктах Международной службы вращения Земли и систем отсчета при уточнении пространственно-временных отсчетных основ ICRF и ITRF. На практике это во многих случаях реализуется с использованием рекуррентного метода наименьших квадратов – путем объединения и совместного решения систем нормальных уравнений.

С точки зрения решения выделенной проблемы, в качестве ключевых факторов сохранения и накопления ценной информации следует выделить максимизацию ее повторного использования в качестве отсчетной основы, для чего необходимо обеспечить прослеживаемость ее происхождения и самосогласованность на всех этапах жизненного цикла.

### *Технологическая реализация*

На практике ИГП, позволяющее обеспечить эффективное использование информации и сохранение ее пространственной составляющей на уровне точности геодезических измерений, может быть сформировано посредством трех основных технологий: 1) формирования геоинформации на основе первичных данных; 2) интеграции в геоинформационное пространство; 3) высокоточного преобразования в заданную систему координат. С помощью этих технологий необходимо осуществить три перехода.

1. Переход от разрозненной измерительной инфраструктуры к ИОП. Практическими шагами в этом направлении на примере технологий ГНСС является создание федеральной сети геодезических станций и реализация

единого механизма учета геодинамических эффектов в координатной основе [13]. Переход к формированию ИОП позволит применять согласованным образом различные высокоточные методы космической геодезии, включая динамический, орбитальный и два высокоточных варианта геометрического метода (относительный и PPP). При этом в рамках ИОП будет обеспечиваться совместимость оценок параметров, включая координаты точек в ОЗСК. С точки зрения геодезии, формирование ИОП позволит определять координаты отдельных точек и привязывать локальные модели к ОЗСК – полностью автоматически с погрешностями от первых миллиметров до первых сантиметров.

2. Переход от монолитного ЕГИП к высокоточному композитному геоинформационному пространству (КГИП), в котором каждый набор оценок параметров (пространственная и атрибутивная геоинформация) характеризуется ковариационной матрицей (полной или в упрощенном, сжатом виде) и используется как отсчетная основа, в том числе для дальнейшего уточнения этих параметров. Каждой такой отсчетной основе должен соответствовать уникальный идентификатор, что позволит проследить происхождение любой величины в КГИП. С точки зрения геодезии это означает, что геодезическое построение следует трактовать как отдельную версию координатной основы. Решение о том, значимы ли различия между такими версиями, может приниматься автоматически на основе требований к точности в конкретной задаче. При интеграции геодезических построений, цифровых моделей местности в КГИП, они преобразуются в единую систему координат по формальным параметрам, что позволяет представить КГИП в форме ЕГИП, пренебрегая различиями в реализации отдельных геодезических построений, но с сохранением возможности восстановить исходную модель с практически первоначальной точностью. На практике для этого необходима полностью автоматическая технология преобразования координат, которая могла бы быть интегрирована с геоинформационными системами и выполнять преобразование в фоновом режиме, не вынуждая пользователя вникать в его детали. Такая технология представлена в работе [14]. Ее внедрение будет неизбежно связано с пере-

определением государственной системы координат с учетом геодинамических эффектов, что необходимо для долговременного поддержания координатной основы на уровне точности геодезических измерений. Прототип такой системы ГСК-2035 представлен в работе [13].

3. Переход от замещения геоинформации к ее уточнению в геоинформационном пространстве. Такой подход реализуется в космической геодезии с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов. В рамках ИГП это уточнение может впервые применяться к информации, хранимой в геоинформационном пространстве. Сохранение полного набора оценок параметров и их ковариационных матриц в КГИП позволяет восстанавливать систему нормальных уравнений, дополнять ее новой информацией и затем обновлять оценки параметров. В этом случае ценная составляющая первичных данных аккумулируется по мере повышения точности геоинформации.

Предложенные решения предназначены для того, чтобы впервые создать на территории России геоинформационное пространство с уровнем точности геодезических измерений, поддерживать его в актуальном состоянии и постепенно уточнять постоянную часть параметров на длительном интервале времени.

### **Заключение**

В качестве решения проблемы значительной потери точности пространственной информации, интегрируемой в единое геоинформационное пространство, предлагается

обеспечить прослеживаемость ее происхождения. Для этого представлен концептуальный подход к формированию измерительно-геоинформационного пространства, который предполагает:

– переход от создания отдельных видов измерительной инфраструктуры (сетей) к формированию высокоточного измерительно-оценочного поля по аналогии с навигационным полем;

– переход от монолитной архитектуры геоинформационного пространства к композитной, в которой каждая исходная пространственная модель после интеграции может быть восстановлена с первоначальной точностью;

– переход от замещения геоинформации к ее многократному использованию в качестве последовательно уточняемой отсчетной основы.

Целью и ожидаемым результатом реализации предложенного подхода является создание и долговременное поддержание на территории России геоинформационного пространства – впервые с уровнем точности исходных геодезических измерений. В результате уровень погрешностей должен быть снижен по сравнению с текущим на два порядка: с уровня первых метров до первых сантиметров.

### **Благодарности**

Исследование выполнено в рамках составной части НИР «ГЕОТЕХ-КВАНТ-3» по заказу ППК «Роскадастр».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. Новосибирск : СГГА, 2004. 259 с.
2. Урличич Ю. М., Финкельштейн А. М., Ревнивых С. Г. и др. Архитектура перспективной системы координатно-временного и навигационного обеспечения России. Труды ИПА РАН. 2009. № 20. С. 20–33.
3. Кафтан В. И. Системы координат и системы отсчета в геодезии, геоинформатике и навигации. Геопрофи. 2008. № 3–4. С. 60–65.
4. Сурнин Ю. В. О корректном применении международной терминологии «Reference System» и «Reference Frame» к понятиям «система координат» и «координатная основа» в геодезической практике России. Геодезия и картография. 2015. № 8. С. 3–9.
5. Rosenberg D. Data before the Fact. 2013. DOI 10.7551/mitpress/9302.003.0003.
6. Banville S., Collins P., P. Tétreault et al. Precise Cooperative Positioning: A Case Study in Canada. 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS 2014, Tampa, United States, Proceedings. Tampa, United States 2014. P. 2503–2511.

7. Долин С. В. Разработка методики коллаборативного позиционирования объектов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем : дис. ... канд. техн. наук / Долин Сергей Владимирович. Новосибирск, 2024. 114 с.
8. Tomlinson R. A Geographic Information System for Regional Planning. *Journal of Geography*. 1969. Vol. 78. Iss. 1. P. 45–48.
9. Майоров А. А. О развитии геоинформатики и геоматики. Перспективы науки и образования. 2015. Т. 13. № 1. С. 63–69.
10. Сурнин Ю. В., Ащеулов В. А., Кужелев С. В. и др. Совершенствование и практическая реализация динамического метода космической геодезии. Новосибирск : СГУГиТ, 2015. 194 с.
11. Эбауэр К. В. Совместное определение координат станций, параметров вращения Земли и коэффициентов гравитационного поля из комбинированной обработки лазерных наблюдений ИСЗ. Теоретические и практические аспекты. Геодезия и картография. 2016. Т. 907. № 1. С. 12–20. DOI 10.22389/0016-7126-2016-907-1-12-20.
12. Lee S.-W., Kouba J., Schutz B. et al. Monitoring precipitable water vapor in real-time using global navigation satellite systems. *Journal of Geodesy*. 2013. Т. 87. № 10–12. С. 923–934. DOI 10.1007/s00190-013-0655-y.
13. Липатников Л. А. Об учете динамических эффектов при установлении государственной системы координат на примере прототипа ГСК-2035. Известия вузов. Геодезия и аэрофото-съемка. 2025. Т. 69. № 5.
14. Липатников Л. А. Онлайн-сервис преобразования координат. Геодезия и картография. 2025. № 3. С. 2–12. DOI 10.22389/0016-7126-2025-1017-3-2-12.

## REFERENCES

1. Karpik A. P. (2004) *Methodological and theoretical bases of geoinformation modelling of territories [Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territorii]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 259 p. [in Russian].
2. Urlichich Yu. M et al. (2009). Architecture of the prospective system for positioning navigation and timing. *Trudy IPA RAN [Publications of IAA RAS]*, (20). 20–33 [in Russian].
3. Kaftan V. I. (2008) Coordinate systems and reference systems in geodesy, geoinformatics, and navigation. *Geoprofi*, (3–4). 60–65 [in Russian].
4. S. Surnin Yu.V., (2015) On the correct application of the international terms "Reference System" and "Reference Frame" to the concepts of "coordinate system" and "coordinate basis" in the geodetic practice of Russia. *Geodeziya i Kartografiya [Geodesy and cartography]*,(8). 2–9. DOI 10.22389/0016-7126-2015-902-8-2-9 [in Russian].
5. Rosenberg D. (2013) Data before the Fact. *Chapter in "Raw Data" Is an Oxymoron*". (pp.15–40). DOI 10.7551/mitpress/9302.003.0003.
6. Banville S. et al. (2014) Precise Cooperative Positioning: A Case Study in Canada. *In Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014), Tampa, United States*. 2503–2511.
7. Dolin S.V. (2024) Development of a methodology for collective positioning of objects based on signals from global navigation satellite systems. *Candidate's thesis*. Novosibirsk [in Russian].
8. Tomlinson R. (1969) A Geographic Information System for Regional Planning. *Journal of Geography*, 78(1). 45–48.
9. Mayorov A. A. On development of geoinformatics and geomatics. *Perspectivy nauki i obrazovaniya [Prospectives of science and education]*, 13(1), 63–69 [in Russian].
10. Yu. V. Surnin et al (2015) Improvement and practical implementation of the dynamic method of space geodesy [Sovershenstvovanie i prakticheskaya realizaciya dinamicheskogo metoda kosmicheskoy geodezii]. Novosibirsk: SSUGT Publ. 194 p. [in Russian].
11. Ehbauehr K. V. (2016) Joint determination of station coordinates, Earth rotation parameters, and gravity field parameters from combined laser observation processing. Theoretical and practical aspects. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, (1). 12–20 [in Russian].

12. Lee S.-W. et. al (2013) Monitoring precipitable water vapor in real-time using global navigation satellite systems. *Journal of Geodesy*. 87(10–12). 923–934. DOI 10.1007/s00190-013-0655-y.

13. Lipatnikov L. A. (2025) On the accounting for dynamical effects in national reference system by the example of GSK-2035 prototype// *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 69(5) [in Russian].

14. Lipatnikov L. A. (2025) Web service for coordinate operations. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 86(3). 2–12. DOI 10.22389/0016-7126-2025-1017-3-2-12 [in Russian].

### Об авторе

*Леонид Алексеевич Липатников* – кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии.

### Author details

*Leonid A. Lipatnikov* – Ph. D., Associate Professor at the Department of Space and Physical Geodesy.

Получено / Received 18.12.2025

Поступила после рецензирования / Revised 12.01.2026

Принята к публикации / Accepted 10.02.2026