



Методология стандартизации и трансформации гидрографических баз данных

М.К. Петросян¹✉, А.А. Маргарян¹, С.В. Товмасын¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения

✉ mariam__petrosyan@nuasa.am

ЦИТИРОВАНИЕ

Петросян М.К., Маргарян А.А., Товмасын С.В. Методология стандартизации и трансформации гидрографических баз данных // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 1. С. 56–76. DOI:10.30533/scidata-2025-16-02.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гидрографические данные, INSPIRE, инфраструктура пространственных данных, трансформация данных

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлена методология преобразования гидрографических баз данных в соответствии с требованиями европейской директивы INSPIRE (англ. Infrastructure for Spatial Information in the European Community), которая выбрана в качестве эталона как наиболее детально разработанная спецификация данных гидрографии, комплексно охватывающая все критически важные элементы структуры гидрографических баз данных. Исследование фокусируется на технических аспектах применения трансформационного инструментария для приведения данных в соответствие с моделью «Гидрография» (англ. Hydrography) директивы INSPIRE, в частности с компонентом «Физические воды» (англ. Physical Waters). Детально описаны этапы процесса трансформации, технические задачи и их решения. Результаты исследования показывают, что предлагаемая методология позволяет эффективно адаптировать структуру гидрографических данных к европейским

стандартам с минимальной потерей информации и оптимальным использованием ресурсов. Последовательность методических шагов, представленная в данной работе, может быть использована не только для стандартизации баз данных, существующих в различных странах, в соответствии с требованиями INSPIRE, но и для общей стандартизации гидрографических данных на основе международных стандартов.

1 Введение

Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных имеет критически важное значение для Республики Армения в контексте эффективного территориального управления, управления природными ресурсами и экологического мониторинга. Европейская директива INSPIRE (англ. Infrastructure for Spatial Information in the European Community), принятая в 2007 году, представляет собой комплексную основу для гармонизации пространственных данных и является передовой международной практикой в этой области¹. Выбор директивы INSPIRE в качестве эталона для трансформации гидрографических данных обусловлен тем, что это наиболее детально разработанная и всеобъемлющая спецификация в области гидрографических данных.

Тема гидрографических данных INSPIRE (англ. Hydrography) охватывает описание озер, рек и других водных объектов, а также связанных с ними явлений и всех гидрографических элементов [1]. Она имеет особое значение для управления водными ресурсами, рисками природных бедствий, а также для экологического планирования. Тема гидрографии INSPIRE разделена на три основных компонента: «Базовый» (англ. Core), «Сетевой» (англ. Network) и «Физические воды» (англ. Physical Waters). Настоящее исследование фокусируется на компоненте «Физические воды», который особенно важен для Армении, учитывая значимость водных ресурсов для развития страны.

Стоит отметить, что директива INSPIRE основана на серии международных стандартов ISO 19100 в области географической информации, разработанных техническим комитетом ISO/TC 211. Эти стандарты устанавливают структурированный набор требований для информации, касающейся объектов или явлений, которые прямо или косвенно связаны с местоположением относительно Земли². Стандарты ISO 19100 охватывают различные аспекты географической информации, включая модели данных, метаданные, качество данных, системы координат, сервисы и кодирование. Директива INSPIRE использует эти стандарты

¹ Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) // Official Journal of the European Union. 2007. L 108. P. 1–14.

² ISO 19115-1:2014. Geographic information – Metadata. International Organization for Standardization, 2014. 167 p.

в качестве базовой основы для разработки технических спецификаций и руководств по реализации.

Следует учитывать, что INSPIRE представляет собой не только технический, но и управленческий проект. Как показывают современные исследования [2], ключевыми факторами успешной реализации инфраструктуры пространственных данных (ИПД, англ. Spatial Data Infrastructure, SDI) являются устойчивое управление, распределение ресурсов и адаптивные механизмы координации.

В Армении существует множество наборов гидрографических данных, хранящихся в различных ведомствах и организациях, однако их структуры, форматы и метаданные часто не соответствуют международным стандартам, что ограничивает обмен и интеграцию данных. Следует отметить, что в Армении уже разработан национальный стандарт на основе INSPIRE.

Целью настоящего исследования является разработка и тестирование технической методологии для приведения гидрографических данных Армении в соответствие с моделью «Физические воды» INSPIRE с помощью современных инструментов трансформации данных. Особое внимание уделяется согласованию моделей данных, обеспечению качества данных и методам автоматизированной трансформации для гидрографических объектов (водотоки, водные объекты и т.д.). Как отмечается в работе [3], эффективная реализация INSPIRE имеет решающее значение для современной инфраструктуры пространственных данных в области экологической политики.

Развитие национальных инфраструктур пространственных данных рассматривается как стратегическая необходимость для эффективного управления и устойчивого развития. В ряде исследований подчеркивается, что ИПД формирует основу для интеграции данных и принятия решений на разных уровнях управления [4]. При этом концепция ИПД продолжает эволюционировать, расширяясь от традиционных наружных геопространственных данных к интеграции с системами позиционирования внутри помещений, что создает новые возможности для комплексного управления пространственной информацией [5–7].

Важно отметить, что современное развитие ИПД в Европе выходит за рамки исключительно инфраструктурных задач и все чаще рассматривается в контексте формирования общеевропейских пространственных данных. Как подчеркивают исследователи [8], новые технологические тренды, включая участие частного сектора и гражданских инициатив, формируют основу для перехода от традиционных инфраструктур пространственных данных к более широким экосистемам данных.

2 Материалы и методы

Директива INSPIRE определяет 34 тематических слоя пространственных данных, сгруппированных в трех приложениях (Annexes I, II, III)³. Гидрография включена в приложение I и состоит из трех основных компонентов: «Базовый», «Сетевой» и «Физические воды». Компонент «Физические воды» описывает физическое представление гидрографических объектов, включая естественные и искусственные гидрографические элементы, такие как водотоки, стоячие воды, водно-болотные угодья и гидротехнические сооружения [1].

Технические спецификации INSPIRE для гидрографических данных основаны на ряде стандартов серии ISO 19100, которые обеспечивают базовую методологическую основу для организации пространственных данных. **Особенно важными для реализации модели гидрографических данных являются следующие стандарты:**

- ISO 19107 «Географическая информация. Пространственная схема» — определяет концептуальные схемы для описания пространственных характеристик географических объектов;
- ISO 19108 «Географическая информация. Временная схема» — определяет концепции для описания временных характеристик географической информации;
- ISO 19109 «Географическая информация. Правила для прикладной схемы» — устанавливает правила для создания и документирования схем приложений;
- ISO 19111 «Географическая информация. Привязка по координатам» — определяет концептуальную схему для описания пространственной привязки координат;
- ISO 19115 «Географическая информация. Метаданные» — устанавливает схему для описания географической информации и связанных с ней услуг;
- ISO 19136 «Географическая информация. Географический язык разметки (GML)» — определяет XML-схему для транспортировки и хранения географической информации.

Модель «Физические воды» INSPIRE определяет следующие основные классы объектов⁴:

- «Водоток» (англ. Watercourse) — естественный или искусственный водоток (река, ручей, канал);

³ Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) // Official Journal of the European Union. 2007. L 108. P. 1–14.

⁴ D2.8.1.8. INSPIRE Data Specification on Hydrography – Technical Guidelines / INSPIRE Thematic Working Group Hydrography, 2014. Ver. 3.1.

- «Стоячая вода» (англ. StandingWater) — водный объект, окруженный сушей (озеро, водохранилище);
- «Водно-болотные угодья» (англ. Wetland) — низинная территория, часто покрытая водой;
- «Граница суша — вода» (англ. LandWaterBoundary) — граница между сушей и водным объектом;
- «Плотина или водослив» (англ. DamOrWeir) — преграда, построенная на водотоке для накопления воды;
- «Переход» (англ. Crossing) — конструкция, проходящая над водотоком (мост, акведук);
- «Брод» (англ. Ford) — мелкий участок водотока, который можно пересечь;
- «Шлюз» (англ. Lock) — участок канала, где уровень судов поднимается или опускается.

Для каждого класса объектов определены обязательные и необязательные атрибуты, геометрические представления и взаимосвязи в соответствии со стандартами ISO 19107 и ISO 19109. INSPIRE также требует соответствия метаданных стандартам ISO 19115/19119⁵ и предоставления сетевых сервисов в соответствии со стандартами Открытого геопространственного консорциума (англ. Open Geospatial Consortium, OGC): WMS (англ. Web Map Service), WFS (англ. Web Feature Service).

В процессе трансформации данных использовался инструментарий с открытым исходным кодом HALE (HUMBOLDT Alignment Editor), специально разработанный для приведения данных в соответствие с INSPIRE [9, 10]. Он позволяет осуществлять сопоставление схем (англ. schema mapping) и трансформацию данных в формат GML согласно ISO 19136. Инструментарий предоставляет графический интерфейс для создания соответствий между исходной и целевой схемами, а также может автоматизировать процесс преобразования данных согласно установленным соответствиям.

Как отмечают исследователи [9], HALE был разработан в рамках проекта HUMBOLDT для преодоления гетерогенности на синтаксическом, схематическом и семантическом уровнях: он обеспечивает инструменты для экспертов в предметной области. В некоторых работах [10] подчеркивается, что HALE формирует среду для концептуальной гармонизации геопространственных схем и данных, позволяя визуально анализировать данные и определять сложные трансформации.

Работа инструментария HALE состоит из следующих основных этапов:

- 1) загрузка исходной и целевой схем (XSD, GML);
- 2) автоматические и полуавтоматические предложения соответствий;
- 3) ручное уточнение соответствий;

⁵ D2.8.1.8. INSPIRE Data Specification on Hydrography – Technical Guidelines / INSPIRE Thematic Working Group Hydrography, 2014. Ver. 3.1.

- 4) создание и редактирование правил преобразования;
- 5) выполнение процесса преобразования;
- 6) валидация результатов и генерация отчетов.

Наше исследование включало следующие этапы:

- 1) инвентаризацию и анализ существующих гидрографических данных (изучение наборов гидрографических данных, анализ их структуры и атрибутов);
- 2) изучение модели «Физические воды» INSPIRE и соответствующих стандартов ISO (детальное изучение и анализ тематического слоя «Гидрография — Физические воды» INSPIRE и связанных стандартов ISO 19100);
- 3) определение соответствий (детальное определение соответствий между гидрографическими данными и моделью INSPIRE в среде HALE);
- 4) разработку правил трансформации (разработку алгоритмов и функций для сложных преобразований гидрографических объектов);
- 5) экспериментальную трансформацию (экспериментальное преобразование гидрографических данных выбранного речного бассейна);
- 6) валидацию результатов (проверку соответствия трансформированных данных с помощью инструментария валидации INSPIRE);
- 7) оценку эффективности (оценку качества, скорости трансформации и использования ресурсов).

3 Результаты

В исследовании процесс стандартизации гидрографических данных демонстрируется на примере Армении, где с 2022 года правовым регулированием была определена структура базы данных, в соответствии с которой осуществлялся сбор данных. **Эта структура включала три основных элемента:**

- «Реки» (англ. Rivers) — линейный или полигональный вид;
- «Озера» (англ. Lakes) — полигональный вид;
- «Водохранилища» (англ. Reservoirs) — полигональный вид.

Каждый пространственный слой имеет свои атрибуты.

Атрибуты рек:

- внешний идентификатор (Id);
- название реки (Name);
- длина реки (Length);
- месяц и дата (Date).

Атрибуты озер:

- внешний идентификатор (Id);
- название озера (Name);
- высота (Elevation);
- площадь (Area);

- средняя глубина (Average_Depth);
- максимальная глубина (Max_Depth).

Атрибуты водохранилищ:

- внешний идентификатор (Id);
- название водохранилища (Name);
- дата эксплуатации (Start_Date);
- площадь (Area);
- объем (Volume);
- дата вывода из эксплуатации (End_Date).

Компонент INSPIRE «Физические воды» является более сложной объектной моделью. На **рис. 1** представлено сравнение структуры данных существующей базы данных и модели INSPIRE «Физические воды», демонстрирующее различия в организации и сложности обеих моделей.

Анализ показывает, что существуют определенные несоответствия, в частности INSPIRE требует более расширенные атрибуты (например, inspireId, beginLifespanVersion, endLifespanVersion, hydrographicalPersistence, origin и др.); имеет более сложную иерархию гидрографических объектов; содержит обязательные атрибуты, которые отсутствуют в армянской модели; выдвигает более строгие топологические требования.

В процессе трансформации были применены следующие основные функции и алгоритмы:

- генерация InspireID (генерация соответствующих INSPIRE inspireId на основе армянских уникальных идентификаторов);
- создание объектов GeographicalName (названия, написанные на армянском языке, преобразуются в тип INSPIRE GeographicalName);
- преобразование геометрий (преобразование линейных и полигональных геометрий в формат GML в соответствии с требованиями INSPIRE);
- топологическая коррекция (топологические коррекции для рек с учетом направления потока воды и соединения узлов);
- преобразование кодовых значений (преобразование значений в соответствующие значения кодовых списков INSPIRE);
- генерация обязательных атрибутов (генерация отсутствующих обязательных атрибутов по предварительно определенным правилам; например, генерация атрибута levelOfDetail основана на масштабе данных);
- генерация LandWaterBoundary (создание из границ водотоков и водных объектов);
- создание метаданных (генерация метаданных стандарта ISO 19115/19119 согласно требованиям INSPIRE для всех трансформированных слоев).

Для наглядного представления процесса трансформации на **рис. 2** показана последовательность этапов преобразования экспериментальной базы данных, созданной на основе правового регулирования, в модель INSPIRE.

Рис. 1 Сравнительная структура гидрографических данных: существующая база данных и модель INSPIRE

Fig. 1 Comparative structure of hydrographic data: existing database and INSPIRE model

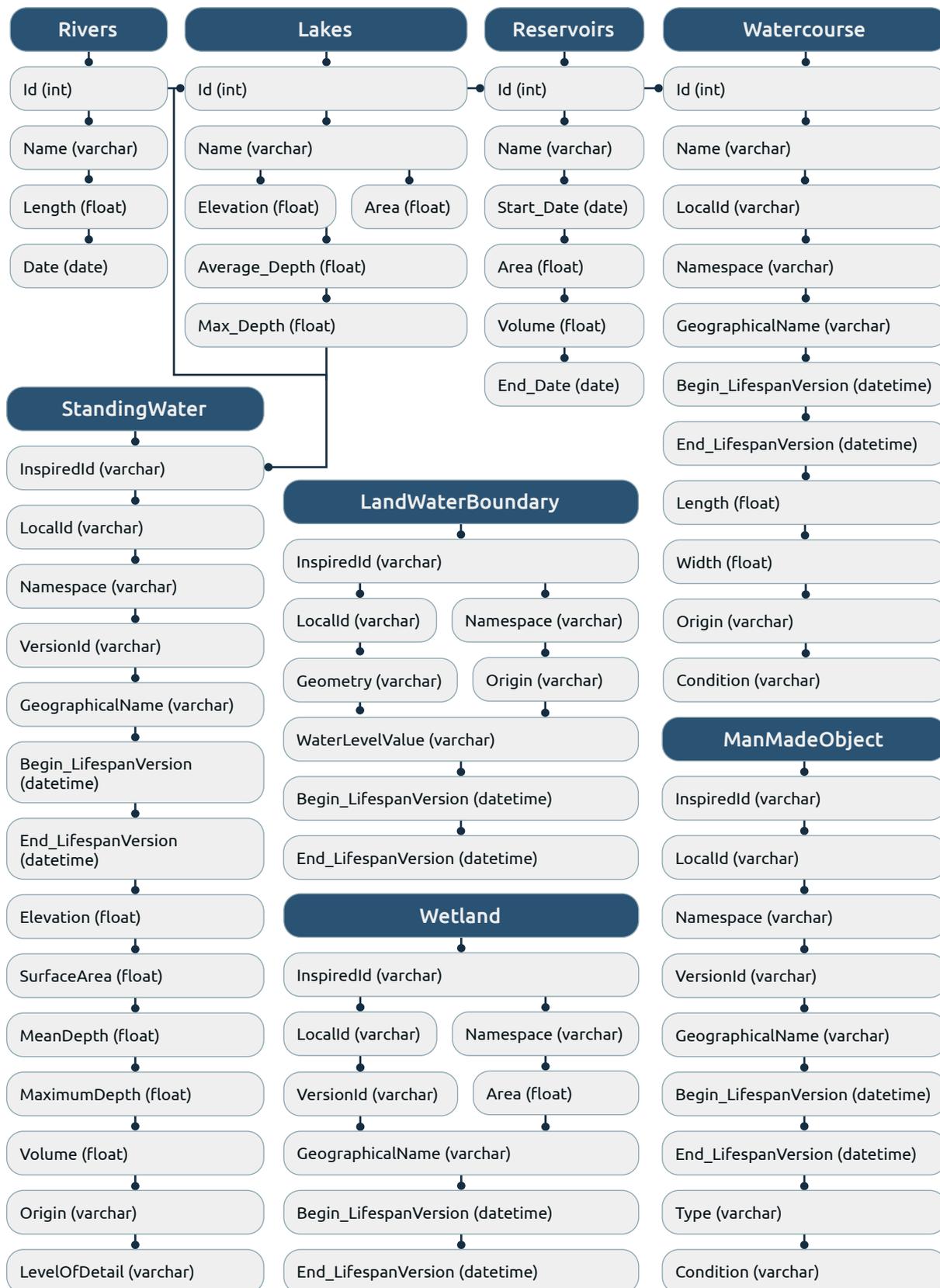
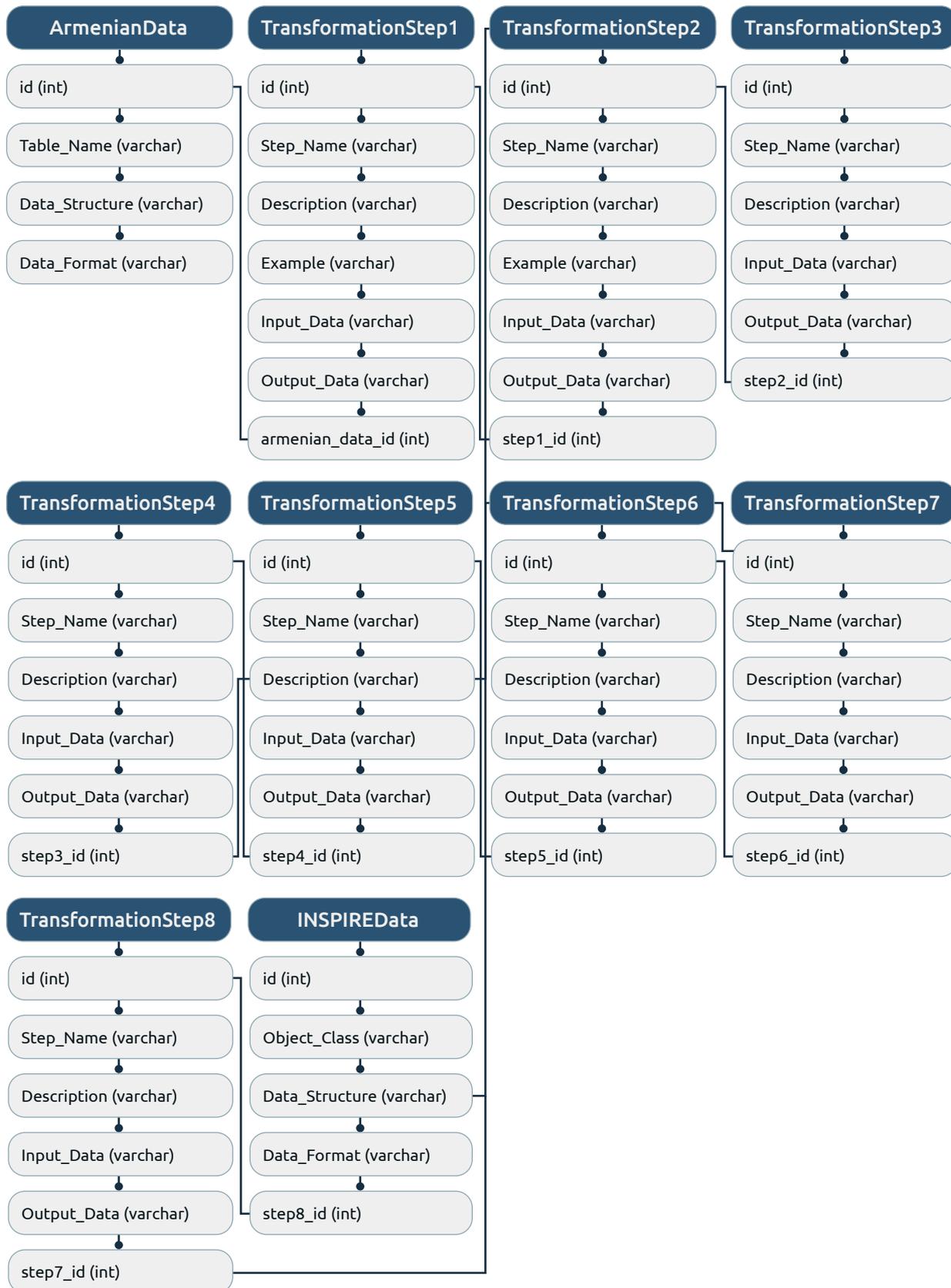


Рис. 2 Процесс трансформации экспериментальной гидрографической базы данных в модель INSPIRE

Fig. 2 Transformation process of experimental hydrographic database to INSPIRE model



Представленная схема иллюстрирует поэтапный процесс трансформации данных, начиная от исходной экспериментальной базы гидрографических данных, созданной на основе правового регулирования, через серию последовательных преобразований в конечную модель INSPIRE. Каждый этап трансформации решает определенную задачу приведения данных в соответствие с требованиями директивы INSPIRE. Критически важными этапами являются генерация уникальных идентификаторов в формате INSPIRE, создание структурированных географических названий и обеспечение топологической целостности данных. Пошаговый подход позволяет контролировать качество трансформации на каждом этапе и обеспечивает полное соответствие конечных данных спецификациям INSPIRE.

Для экспериментальной проверки был выбран бассейн озера Севан, который включает озеро, впадающие в него реки и водохранилища. Этот выбор обусловлен тем, что бассейн озера Севан представляет все элементы гидрографической сети Армении и имеет большое экологическое значение.

Поскольку доступ к официальным гидрографическим данным Армении ограничен, для создания экспериментальной базы данных были использованы открытые данные из проекта OpenStreetMap (OSM). Эти данные были структурированы в соответствии с требованиями правовых актов Армении, регулирующих структуру гидрографических данных. Такой подход позволил создать репрезентативную базу данных, удовлетворяющую национальным стандартам, для последующего сравнения с моделью INSPIRE и трансформации в нее.

Данные были импортированы в базу данных PostgreSQL/PostGIS и организованы в следующие слои:

- полигон озера Севан — извлечен из OSM с добавлением необходимых атрибутов согласно национальной структуре данных;
- линейный слой рек бассейна озера Севан — получен из OSM с последующей структуризацией;
- полигональный слой водохранилищ бассейна озера Севан — создан на основе данных OSM в соответствии с требуемой структурой.

Перед трансформацией была проведена предварительная очистка и проверка данных, выявлены и исправлены следующие проблемы:

- геометрические ошибки (например, самопересечения, перевернутые контуры), особенно характерные для данных из открытых источников;
- отсутствующие обязательные атрибуты (некоторые атрибуты, требуемые национальным стандартом, были созданы и заполнены на основе доступной информации);
- несоответствия кодовых значений (стандартизация кодов в соответствии с национальными требованиями);
- проблемы, связанные с направлением потока рек (коррекция направления потока на основе цифровой модели рельефа для обеспечения правильной топологии).

Использование открытых данных OSM и их структуризация в соответствии с национальными требованиями позволили создать экспериментальную базу данных, пригодную для тестирования методологии трансформации в модель INSPIRE. Этот подход демонстрирует возможность использования открытых данных для соответствия национальным и международным стандартам при отсутствии доступа к официальным базам данных.

Процесс трансформации был реализован с помощью инструментария HALE Studio и состоял из следующих этапов:

- 1) загрузки исходных данных (структурированные гидрографические данные бассейна озера Севан, созданные на основе OSM и организованные в соответствии с правовыми актами Армении, были загружены в инструментарий HALE);
- 2) загрузки схемы «Физические воды» INSPIRE (файл XML-схемы INSPIRE Hydrography был загружен в качестве целевой схемы);
- 3) определения соответствий (были определены линейные картографические соответствия между экспериментальной базой данных и моделью INSPIRE: реки → Watercourse; озера → StandingWater [natural origin]; водохранилища → StandingWater [manMade origin]);
- 4) создания функций (для сложных атрибутов [inspireId, geographicalName и т. д.] были созданы специальные функции; особое внимание было уделено корректному преобразованию армянских географических названий, полученных из OSM, в структуру GeographicalName INSPIRE с сохранением языковой информации);
- 5) трансформации (была выполнена трансформация данных в соответствии с форматом INSPIRE GML; процесс включал трансформацию как атрибутивных данных, так и геометрических представлений объектов);
- 6) проверки результатов (полученные GML-файлы были проверены валидатором INSPIRE для подтверждения соответствия требованиям директивы).

Процесс преобразования потребовал около трех часов для определения соответствий и 25 минут для самой трансформации. Использование данных из открытых источников, структурированных согласно национальным требованиям, позволило продемонстрировать эффективность методологии трансформации в реальных условиях и выявить особенности преобразования различных типов гидрографических объектов.

Полученные GML-файлы, соответствующие INSPIRE, были проверены валидатором INSPIRE, который показал следующие результаты:

- соответствие схеме — 98,5 %;
- топологическая корректность — 96,2 %;
- целостность атрибутов — 97,8 %;
- соответствие кодовым спискам — 95,3 %;
- соответствие метаданных — 100 %.

Основные проблемы были связаны:

- 1) с направлениями потока некоторых рек, которые присутствовали также в исходных данных;
- 2) топологическими связями (реки, которые должны быть соединены с озером Севан);
- 3) отсутствующими атрибутами (некоторые реки не имели значений длины).

4 Обсуждение

В процессе трансформации были выявлены важные технические задачи, требующие методологического решения для успешной гармонизации данных с моделью INSPIRE. Управление сложными атрибутами INSPIRE представляло значительную сложность из-за их иерархической структуры и строгих требований к форматированию. Эта задача была решена путем создания специальных функций преобразования в HALE на основе рекомендаций, представленных в работе [7]. Топологические аспекты преобразования потребовали применения специализированных алгоритмов топологической коррекции для обеспечения правильных соединений между водотоками и водными объектами, особенно в случаях, когда необходимо было сохранить направление потока и связи между элементами гидрографической сети бассейна озера Севан. Различия в представлении данных между исходной моделью и спецификацией INSPIRE потребовали разработки методов для корректного преобразования между разными геометрическими представлениями, включая трансформацию между линейными и полигональными объектами, что особенно важно для рек, которые могут быть представлены как линиями, так и полигонами в зависимости от своей ширины и масштаба. Проблема отсутствия обязательных атрибутов в экспериментальной базе данных, созданной на основе OSM, была решена через внедрение стратегий для автоматического заполнения отсутствующих атрибутов на основе существующих данных и предварительно определенных правил вывода. Это позволило соблюсти требования INSPIRE к полноте данных. Языковые различия и специфика армянского языка потребовали создания специальных механизмов для правильной обработки географических названий в структуре GeographicalName INSPIRE. Это обеспечивает корректное представление национальных символов и сохранение лингвистической информации. Идентифицированные технические задачи и разработанные решения имеют значительное сходство с проблемами, описанными в исследовании Д. Марковиновича (D. Marković) и его соавторов [3], где выявлены основные вызовы доступности и совместимости гидрографических и гидрогеологических данных в контексте внедрения INSPIRE в европейских странах, что подтверждает актуальность и универсальность разработанной методологии для различных региональных контекстов.

Наглядно различия между исходной моделью данных и моделью INSPIRE представлены в **табл. 1, 2**, а процесс трансформации — на **рис. 3**.

Рис. 3 Концептуальная модель трансформации данных

Fig. 3 Conceptual model of data transformation



Таблица 1 Сравнение структур атрибутов для водотоков

Table 1 Comparison of attribute structures for watercourses

Атрибут согласно существующей базе данных	Атрибут INSPIRE	Тип трансформации	Комментарий
Id	inspireId	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру Identifier
Name	geographicalName	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру GeographicalName
Length	length	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Date	beginLifespanVersion	Прямое соответствие	Для обеспечения однозначности и стандартизации формат даты следует выбирать в соответствии с ISO 8601
—	endLifespanVersion	Генерация	Может быть оставлен пустым
—	width	Генерация	Может быть заполнен приблизительными значениями
—	origin	Генерация	Устанавливается как natural для рек
—	level	Генерация	Определяется по расположению
—	condition	Генерация	По умолчанию functional

Таблица 2 Сравнение структур атрибутов для озер и водохранилищ

Table 2 Comparison of attribute structures for lakes and reservoirs

Атрибут согласно существующей базе данных	Атрибут INSPIRE	Тип трансформации	Комментарий
Id	inspireId	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру Identifier
Name	geographicalName	Сложное преобразование	Необходимо создать структуру GeographicalName
Elevation	elevation	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Area	surfaceArea	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в квадратных метрах
Average_Depth (озера)	meanDepth	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Max_Depth (озера)	maximumDepth	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в метрах
Volume (водохранилища)	volume	Прямое соответствие	Единицы измерения должны быть в кубических метрах
Start_Date (водохранилища)	beginLifespanVersion	Прямое соответствие	Для обеспечения однозначности и стандартизации формат даты следует выбирать в соответствии с ISO 8601
End_Date (водохранилища)	endLifespanVersion	Прямое соответствие	Для обеспечения однозначности и стандартизации формат даты следует выбирать в соответствии с ISO 8601
—	origin	Генерация	natural — для озер, manMade — для водохранилищ
—	levelOfDetail	Генерация	Определяется на основе масштаба данных

На основе результатов исследования предлагается методологический подход к стандартизации гидрографических данных, который может служить основой для разработки национальных руководств по структурированию пространственных данных. Необходимо внедрение единой модели данных в организациях, работающих с гидрографическими данными, с учетом как международных стандартов, так и национальных особенностей. Предлагаемая модель должна сохранять все характеристики, специфичные для региональных гидрографических объектов, и одновременно обеспечивать соответствие общим принципам пространственной организации данных. Важным компонентом является создание универсальных кодовых списков для классификации гидрографических объектов с учетом региональных особенностей, таких как малые горные реки и родники,

характерные для горного рельефа. Следует обеспечить включение в структуру данных всех необходимых атрибутов, позволяющих однозначно идентифицировать и характеризовать гидрографические объекты, с разработкой правил заполнения и поддержания актуальности таких атрибутов. В целях оптимизации процесса стандартизации рекомендуется разработка централизованных веб-сервисов трансформации для автоматического преобразования существующих гидрографических данных в соответствии с единым стандартом, что позволит организациям без специализированных технических навыков эффективно гармонизировать свои данные. Необходимо создание детальных методических руководств по трансформации гидрографических данных, адаптированных к местной специфике, в том числе особенностям национальной топонимики и многоязычных наименований. Важным аспектом является разработка и внедрение строгих процедур проверки качества данных, включая топологические проверки и валидацию атрибутов. Для обеспечения интероперабельности с различными информационными системами следует создать стандартизированные сервисы визуализации и загрузки гидрографических данных.

Разработанные в рамках INSPIRE технические спецификации и созданные на их основе национальные руководства представляют собой ценный источник методического опыта, который может быть адаптирован для подготовки национальных стандартов в области пространственных данных. Важно, что данный опыт позволяет избежать дублирования усилий и использовать уже проверенные подходы к организации данных с учетом национальных приоритетов и особенностей.

Разработанная методология трансформации данных с использованием инструментария HALE демонстрирует высокий потенциал для применения не только к гидрографическим данным, но и к другим тематическим слоям пространственных данных. Предложенный подход может служить методическим руководством для стандартизации и гармонизации различных типов геопространственной информации, обеспечивая единообразие структуры данных и методов их обработки. Так, методология может быть адаптирована для стандартизации данных по землепользованию, транспортной инфраструктуре, административным границам, охраняемым территориям и другим тематическим категориям пространственных данных. Как отмечают исследователи [4], единообразие в структуре тематических слоев пространственных данных обеспечивает возможности для комплексного анализа и использования этих данных при решении различных прикладных задач.

При адаптации методологии к другим типам пространственных данных необходимо учитывать следующее. Для каждой тематической категории данных требуется определение соответствующей модели данных, отражающей особенности представляемых объектов и явлений. Важно принимать во внимание специфические атрибуты и взаимосвязи, характерные для разных типов пространственных объектов. Необходимо разрабатывать специальные правила

трансформации, учитывающие особенности геометрического представления и топологических отношений для различных категорий данных. Многие тематические слои имеют собственные системы классификации и кодирования, которые требуют специфических подходов к стандартизации.

5 Выводы

В настоящем исследовании была разработана и экспериментально проверена методология трансформации гидрографических данных с использованием инструментария HALE, могущая служить методическим руководством для стандартизации структуры пространственных данных. Анализ технических требований и спецификаций позволил выявить ключевые аспекты организации гидрографических данных, включая особенности атрибутивного состава, геометрического представления и топологических отношений. На основе этого анализа разработана последовательная методология трансформации, включающая определение соответствий между классами объектов, создание функций преобразования сложных атрибутов, топологическую коррекцию и генерацию метаданных.

Методология была успешно апробирована на экспериментальной базе данных, созданной для бассейна озера Севан с использованием открытых данных OSM, структурированных в соответствии с установленным правовым регулированием. Этот подход демонстрирует возможность применения общедоступных данных для создания стандартизированных наборов пространственных данных.

Результаты валидации трансформированных данных показали высокий уровень качества: соответствие схеме — 98,5 %, топологическая корректность — 96,2 %, целостность атрибутов — 97,8 %, соответствие кодовым спискам — 95,3 %, соответствие метаданных — 100 %. Выявленные в процессе валидации проблемы, связанные с направлением потока рек, топологическими связями и отсутствующими атрибутами, могут быть устранены путем дополнительной обработки исходных данных и совершенствования функций трансформации.

Предложены конкретные рекомендации для стандартизации гидрографических данных, включая разработку единой модели данных, создание универсальных кодовых списков, внедрение комплексных атрибутов и разработку сервисов трансформации. Была оценена применимость разработанной методологии для других типов пространственных данных, в результате выявлен потенциал этой методологии как общего подхода к стандартизации различных тематических слоев геопространственной информации.

Разработанная методология имеет практическую значимость как методическое руководство для стандартизации структуры пространственных данных различной тематической направленности. Дальнейшие исследования могут быть

направлены на автоматизацию процессов трансформации данных, оптимизацию топологической коррекции и развитие методологий для других тематических категорий пространственных данных.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Fichtinger A, Rix J, Schäffler U, et al. Data Harmonisation Put into Practice by the HUMBOLDT Project // International Journal of Spatial Data Infrastructures Research. 2011. Vol. 6. P. 234–260.
2. Sjoukema J.W., Samia J., Bregt A.K., et al. The Governance of INSPIRE: Evaluating and Exploring Governance Scenarios for the European Spatial Data Infrastructure // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. Vol. 11. No. 2. P. 141. DOI:10.3390/ijgi11020141.
3. Markovinović D., Cetl V., Šamanović S., et al. Availability and Accessibility of Hydrography and Hydrogeology Spatial Data in Europe through INSPIRE // Water. 2022. Vol. 14. No. 9. P. 1499. DOI:10.3390/w14091499.
4. Annoni A., Craglia M. Towards a European Spatial Data Infrastructure: Recommendations for Action from the GINIE project // Proceedings of the 6th Global Spatial Data Infrastructure Conference. Budapest, Hungary, 16–19 September 2002. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228456920> (Accessed 12 May 2025).
5. Coleman D.J., Rajabifard A., Kolodziej K.W. Expanding the SDI environment: comparing current spatial data infrastructure with emerging indoor location-based services // International Journal of Digital Earth. 2016. Vol. 9. No. 6. P. 629–647. DOI:10.1080/17538947.2015.1119207.
6. Craglia M., Annoni A. INSPIRE: An innovative approach to the development of spatial data infrastructures in Europe // Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts. Redlands: ESRI Press, 2007. P. 93–105.
7. Vandenbroucke D., Biliouris D. Spatial Data Infrastructures in Europe: State of Play 2011. Leuven: K.U. Leuven Research & Development, 2011. 71 p.
8. Kotsev A., Minghini M., Tomas R., et al. From Spatial Data Infrastructures to Data Spaces – A Technological Perspective on the Evolution of European SDIs // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. Vol. 9. No. 3. P. 176. DOI:10.3390/ijgi9030176.
9. Reitz T., Templer S. An Environment for the Conceptual Harmonisation of Geospatial Schemas and Data // Proceedings of the AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag, 2012. P. 63–68.
10. Athanasiou S., Pirovolakis N., Androulidakis K., et al. Towards the Greek INSPIRE implementation: Challenges and next steps // International Journal of Spatial Data Infrastructures Research. 2021. Vol. 16. P. 1–25.

АВТОРЫ

Петросян Мариам Кимиковна

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения
кафедра инженерной геодезии, факультет городского хозяйства и экологии

 0000-0002-2170-4715

Маргарян Ануш Ашотовна

 a_margaryan@nuasa.am

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения
кафедра инженерной геодезии, факультет городского хозяйства и экологии
канд. техн. наук

 0000-0002-4754-4609

Товмасын Сурен Владимирович

 s.tovmasyan@nuasa.am

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения
кафедра инженерной геодезии, факультет городского хозяйства и экологии
канд. техн. наук

 0000-0001-6939-9951

Поступила 14.05.2025. Принята к публикации 23.06.2025. Опубликовано 27.06.2025.

UDC 528.94

DOI:10.30533/scidata-2025-16-02



Methodology for Standardization and Transformation of Hydrographic Databases

Mariam K. Petrosyan¹✉, Anush A. Margaryan¹,
Suren V. Tovmasyan¹

AFFILIATIONS

¹ National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

✉ mariam__petrosyan@nuaca.am

CITATION

Petrosyan MK, Margaryan AA, Tovmasyan SV. Methodology for Standardization and Transformation of Hydrographic Databases. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(1): 56–76. DOI:10.30533/scidata-2025-16-02.

KEYWORDS

hydrographic data, INSPIRE, spatial data infrastructure, data transformation

ABSTRACT

This paper presents a methodology for transforming hydrographic databases to comply with the European INSPIRE Directive. The INSPIRE Directive has been selected as a reference standard because it represents the most detailed and comprehensive hydrographic data specification that covers all critical elements of hydrographic database structures. The research focuses on technical aspects of applying transformation tools to align data with the INSPIRE “Hydrography” model, particularly its “Physical Waters” component. The process stages, technical challenges, and their solutions are described in detail. The methodology was tested on an experimental database created for Lake Sevan basin using open data from OpenStreetMap (OSM), structured according to regulatory requirements. The results show that the proposed methodology effectively adapts

hydrographic data structures to European standards with minimal information loss and optimal resource utilization. This research can serve as a methodological guide for standardizing existing databases in various countries, not only in accordance with INSPIRE requirements but also for general standardization of hydrographic data based on international standards.

REFERENCES

1. Fichtinger A, Rix J, Schäffler U, et al. Data Harmonisation Put into Practice by the HUMBOLDT Project. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*. 2011;6: 234–260.
2. Sjoukema J-W, Samia J, Bregt AK, et al. The Governance of INSPIRE: Evaluating and Exploring Governance Scenarios for the European Spatial Data Infrastructure. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022;11(2): 141. DOI:10.3390/ijgi11020141.
3. Markovinović D, Cetl V, Šamanović S, et al. Availability and Accessibility of Hydrography and Hydrogeology Spatial Data in Europe through INSPIRE. *Water*. 2022;14(9): 1499. DOI:10.3390/w14091499.
4. Annoni A, Craglia M. Towards a European Spatial Data Infrastructure: Recommendations for Action from the GINIE project. *Proceedings of the 6th Global Spatial Data Infrastructure Conference. Budapest, Hungary, 16–19 September 2002*. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/228456920> (Accessed 12 May 2025).
5. Coleman DJ, Rajabifard A, Kolodziej KW. Expanding the SDI environment: comparing current spatial data infrastructure with emerging indoor location-based services. *International Journal of Digital Earth*. 2016;9(6): 629–647. DOI:10.1080/17538947.2015.1119207.
6. Craglia M, Annoni A. INSPIRE: An innovative approach to the development of spatial data infrastructures in Europe. *Research and Theory in Advancing Spatial Data Infrastructure Concepts*. Redlands: ESRI Press; 2007: 93–105.
7. Vandenbroucke D, Biliouris D. *Spatial Data Infrastructures in Europe: State of Play 2011*. Leuven: K.U. Leuven Research & Development; 2011. 71 p.
8. Kotsev A, Minghini M, Tomas R, et al. From Spatial Data Infrastructures to Data Spaces – A Technological Perspective on the Evolution of European SDIs. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020;9(3): 176. DOI:10.3390/ijgi9030176.
9. Reitz T, Templer S. An Environment for the Conceptual Harmonisation of Geospatial Schemas and Data. *Proceedings of the AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science*. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag; 2012: 63–68.
10. Athanasiou S, Pirovolakis N, Androulidakis K, et al. Towards the Greek INSPIRE implementation: Challenges and next steps. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*. 2021;16: 1–25.

AUTHORS

Mariam K. Petrosyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

Department of Engineering Geodesy, Faculty of Urban Economy and Ecology

 0000-0002-2170-4715

Anush A. Margaryan

 a_margaryan@nuaca.am

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

Department of Engineering Geodesy, Faculty of Urban Economy and Ecology

PhD in Engineering

 0000-0002-4754-4609

Suren V. Tovmasyan

 s.tovmasyan@nuaca.am

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, Armenia

Department of Engineering Geodesy, Faculty of Urban Economy and Ecology

PhD in Engineering

 0000-0001-6939-9951

Submitted: May 14, 2025. Accepted: June 23, 2025. Published: June 27, 2025.