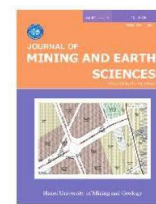




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Development of a stratigraphic framework and identification code system for engineering geological stratigraphy in Hanoi urban area



Phong Van Nguyen^{1,*}, Thanh Song Nguyen², Dung Tien Nguyen^{2,3}, Nga Viet Thi Pham¹, Ha Ngoc Thi Pham¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Fecon Institute of Underground Engineering, Hanoi, Vietnam

³ VNU Vietnam Japan University, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 20th Feb. 2026

Revised 11th June 2026

Accepted 01st July 2026

Keywords:

Engineering geological database,
Engineering geological stratigraphy,
Hanoi urban area,
Identification code,
Stratigraphic framework.

Engineering geological stratigraphy plays an important role in evaluating engineering geological conditions for urban planning, design, and construction, particularly in the context of rapid urbanization. In practice, engineering geological data are often collected from different projects, time periods, and levels of detail, while the lack of a unified stratigraphic framework and identification system poses difficulties for data comparison, integration, and effective utilization.

This paper presents the results of developing a stratigraphic framework and identification code system for engineering geological stratigraphy using a systematic approach, applied to the urban area of Hanoi. The proposed framework is organized according to different criteria, from general to detailed levels, based on the Quaternary geological framework in combination with engineering geological criteria. Based on this framework, an identification code (ID) structure is proposed to integrate information on formation, depositional origin, soil type, and state-mechanical properties, thereby supporting the standardization of identification, comparison, and management of engineering geological data.

The results contribute to improving the scientific basis for the delineation and identification of engineering geological stratigraphy, and provide a foundation for the development of engineering geological databases and subsurface spatial modeling to support urban management and development in Hanoi. The proposed stratigraphic framework and identification code system are open, flexible, and can be extended for application in areas with similar geological conditions.

Copyright © 2026 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

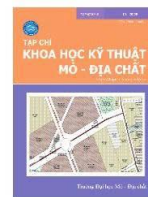
E - mail: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(5).02



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu xây dựng hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng địa chất công trình khu vực đô thị Hà Nội

Nguyễn Văn Phóng^{1*}, Nguyễn Song Thanh², Nguyễn Tiến Dũng^{2,3}, Phạm Thị Việt Nga¹, Phạm Thị Ngọc Hà¹

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Viện Nền móng và Công trình ngầm, Hà Nội, Việt Nam

³ Trường đại học Việt Nhật, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 20/02/2026

Sửa xong 11/6/2026

Chấp nhận đăng 01/7/2026

Từ khóa:

Cơ sở dữ liệu địa chất công

trình,

Địa tầng địa chất công trình,

Đô thị Hà Nội,

Mã định danh,

Phân vị địa tầng.

TÓM TẮT

Địa tầng địa chất công trình (ĐCCT) giữ vai trò quan trọng trong đánh giá điều kiện ĐCCT phục vụ quy hoạch, thiết kế và xây dựng công trình, đặc biệt trong bối cảnh đô thị hóa nhanh. Trong thực tiễn, dữ liệu ĐCCT thường được thu thập từ nhiều dự án, thời điểm và mức độ chi tiết khác nhau, trong khi thiếu một hệ thống phân vị và định danh thống nhất, gây khó khăn cho việc đối sánh, tích hợp và khai thác hiệu quả thông tin.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng ĐCCT theo cách tiếp cận hệ thống, áp dụng cho khu vực đô thị Hà Nội. Hệ thống phân vị được tổ chức dựa vào các nhóm tiêu chí phân định, từ tổng quát đến chi tiết, trên cơ sở kế thừa khung địa tầng địa chất Đệ Tứ kết hợp với các tiêu chí địa chất công trình. Trên nền tảng hệ thống phân vị, cấu trúc mã định danh (ID) được đề xuất nhằm tích hợp thông tin về hệ tầng, nguồn gốc trầm tích, loại đất và trạng thái - tính chất cơ lý, phục vụ chuẩn hóa công tác nhận diện, đối sánh và quản lý dữ liệu ĐCCT.

Kết quả nghiên cứu góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học cho phân định và định danh địa tầng ĐCCT, đồng thời tạo nền tảng cho việc xây dựng cơ sở dữ liệu và mô hình hóa không gian phục vụ quản lý và phát triển đô thị Hà Nội. Hệ thống phân vị và mã định danh đề xuất có tính mở, linh hoạt và có thể mở rộng áp dụng cho các khu vực có điều kiện địa chất tương tự.

© 2026 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(5).02

1. Mở đầu

Địa tầng địa chất công trình (ĐCCT) là một trong những yếu tố cơ bản và quan trọng trong nghiên cứu, đánh giá điều kiện ĐCCT phục vụ quy hoạch, thiết kế và thi công xây dựng. Việc phân định và nhận diện các đơn vị địa tầng ĐCCT, bao gồm tuổi, nguồn gốc và các đặc điểm về thành phần, cấu trúc và tính chất cơ lý của đất đá, có ý nghĩa quan trọng trong việc làm rõ quy luật phân bố địa tầng, dự báo các vấn đề địa kỹ thuật bất lợi và lựa chọn giải pháp nền móng phù hợp.

Trong thực tiễn xây dựng, đặc biệt tại các khu vực đô thị lớn, dữ liệu ĐCCT thường được thu thập từ nhiều dự án khác nhau, với mục tiêu khảo sát, phương pháp thực hiện và mức độ chi tiết không đồng nhất. Sự khác biệt trong cách mô tả, phân chia và ký hiệu các lớp đất giữa các tài liệu khảo sát gây khó khăn cho việc đối sánh, tổng hợp và khai thác thông tin. Trong bối cảnh đó, việc xây dựng một hệ thống phân vị và định danh địa tầng ĐCCT thống nhất, có khả năng phản ánh các mức độ đồng nhất khác nhau của đất đá và cho phép tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn, là yêu cầu cấp thiết trong nghiên cứu và quản lý xây dựng.

Trên thế giới, việc nghiên cứu địa tầng ĐCCT đã được tiếp cận theo nhiều hướng khác nhau, tiêu biểu như tiếp cận theo địa tầng - nguồn gốc (Dearman, 1991), tiếp cận theo ĐCCT (Sergeev, 1980), và tiếp cận tích hợp (IAEG, 1976). Các cách tiếp cận này tạo cơ sở cho việc xây dựng các hệ thống phân vị địa tầng phục vụ lập bản đồ ĐCCT. Cùng với đó, các tiêu chuẩn thiết kế và khảo sát địa kỹ thuật như Eurocode 7 (2004), ASTM (2017) và nhiều tiêu chuẩn quốc gia liên quan đã quy định tương đối đầy đủ về phân loại đất đá theo nguồn gốc, thành phần và trạng thái. Tuy nhiên, các hệ thống phân loại này chủ yếu phục vụ cho thiết kế nền móng, chưa hình thành một hệ thống phân vị địa tầng phù hợp với yêu cầu tích hợp, quản lý dữ liệu ĐCCT.

Tại Việt Nam, các tiêu chuẩn hiện hành như TCVN 5746:2024 và TCVN 8217:2009 chủ yếu tập trung phân loại, dạng đất đá theo tính chất ĐCCT. Một số nghiên cứu đã đề cập đến cách tiếp cận hệ thống trong phân cấp thể địa chất (Phạm, 2020), tổ chức các đơn vị địa tầng ĐCCT (Nguyễn, 2004; Nguyễn và nnk., 2025). Tuy nhiên, nhìn chung vẫn còn thiếu một hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT thống nhất, thể hiện rõ mối quan hệ kế thừa giữa

địa tầng địa chất và địa tầng ĐCCT, đồng thời đáp ứng yêu cầu tích hợp, chuẩn hóa và khai thác dữ liệu ở quy mô đô thị.

Khu vực đô thị Hà Nội nằm trong phạm vi đồng bằng châu thổ sông Hồng, nơi phát triển các trầm tích Đệ Tứ có bề dày lớn, nguồn gốc thành tạo đa dạng và phân bố phức tạp theo không gian và chiều sâu. Trong điều kiện đô thị hóa nhanh, nhiều công trình hạ tầng quy mô lớn như đường sắt đô thị, công trình ngầm và các khu đô thị mới được triển khai đồng thời, đặt ra yêu cầu cao về tính đồng bộ, nhất quán và khả năng khai thác hiệu quả dữ liệu ĐCCT. Việc thiếu một hệ thống phân vị và định danh địa tầng thống nhất không chỉ gây khó khăn cho công tác tích hợp dữ liệu mà còn hạn chế khả năng mô hình hóa không gian và dự báo điều kiện địa kỹ thuật.

Xuất phát từ những yêu cầu thực tiễn nêu trên, bài báo tập trung nghiên cứu xây dựng hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng ĐCCT theo cách tiếp cận hệ thống, trên cơ sở kế thừa khung địa tầng địa chất Đệ Tứ và kết hợp với các tiêu chí địa chất công trình. Hệ thống được tổ chức theo các mức độ đồng nhất khác nhau của các đơn vị địa tầng, từ tổng quát đến chi tiết, nhằm phục vụ hiệu quả cho việc phân định, nhận diện, tích hợp và quản lý dữ liệu ĐCCT trong điều kiện đô thị.

2. Cơ sở khoa học và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khái niệm địa tầng địa chất công trình và yêu cầu phân định

Địa tầng địa chất công trình (ĐCCT) được hiểu là tập hợp các đơn vị địa tầng (đất, đá) được phân chia và tổ chức theo một hệ thống phân vị nhất định, phản ánh các đặc trưng ĐCCT có ý nghĩa đối với khảo sát, thiết kế và thi công xây dựng. Khác với địa tầng địa chất thuần túy, địa tầng ĐCCT nhấn mạnh các đặc trưng chi phối ứng xử cơ học của đất đá trong điều kiện xây dựng, đồng thời bảo đảm tính kế thừa và liên kết với cấu trúc địa tầng địa chất của khu vực.

Các đơn vị địa tầng ĐCCT được xác lập trên cơ sở kết hợp các tiêu chí về tuổi, nguồn gốc, thành phần vật chất, cấu trúc, trạng thái và các tính chất cơ lý đặc trưng của đất đá. Tùy theo mục tiêu, phạm vi nghiên cứu và mức độ chi tiết của dữ liệu khảo sát, các tiêu chí này có thể được sử dụng với

mức độ ưu tiên khác nhau để phân định các đơn vị địa tầng ĐCCT phù hợp.

Việc phân định địa tầng ĐCCT không chỉ nhằm mô tả cấu trúc địa tầng, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc chuẩn hóa, tích hợp và khai thác dữ liệu ĐCCT. Trong thực tiễn, sự khác biệt về cách mô tả, phân chia và ký hiệu lớp đất giữa các dự án khảo sát có thể gây khó khăn cho việc đối sánh và tổng hợp dữ liệu nếu thiếu một hệ thống phân vị thống nhất, đặc biệt trong các nghiên cứu tổng hợp và xây dựng cơ sở dữ liệu ĐCCT ở quy mô đô thị.

Về nguyên tắc, việc phân định địa tầng ĐCCT cần đáp ứng đồng thời hai yêu cầu cơ bản. Thứ nhất, bảo đảm tính kế thừa địa tầng địa chất của khu vực, duy trì tính liên tục không gian và mối quan hệ tự nhiên giữa các đơn vị địa tầng. Thứ hai, phản ánh đúng đặc trưng xây dựng của đất đá thông qua việc xác lập các đơn vị địa tầng dựa trên các tiêu chí phù hợp với mục tiêu sử dụng, từ quy hoạch tổng thể đến thiết kế công trình cụ thể. Bên cạnh đó, hệ thống phân vị cần bảo đảm tính nhất quán trong nhận diện và ký hiệu, tạo điều kiện thuận lợi cho việc mã hóa, lưu trữ và tích hợp dữ liệu trong các cơ sở dữ liệu và mô hình địa tầng số.

Trong nghiên cứu này, thuật ngữ “phân vị địa tầng ĐCCT” được sử dụng để nhấn mạnh việc tổ chức các đơn vị địa tầng theo các tiêu chí khác nhau, qua đó làm rõ bản chất địa tầng và nâng cao khả năng ứng dụng trong tích hợp và quản lý dữ liệu ĐCCT. Hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT được xây dựng trên cơ sở kết hợp các nhóm tiêu chí khác nhau, bao gồm: (i) nhóm tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc, phản ánh bối cảnh địa chất và điều kiện thành tạo; (ii) nhóm tiêu chí về thành phần vật chất, thể hiện đặc trưng thạch học của đất; và (iii) nhóm tiêu chí về tính chất địa chất công trình, phản ánh trạng thái và tính chất cơ lý của đất. Cách tiếp cận này cho phép liên kết giữa các yếu tố địa tầng địa chất và đặc trưng ĐCCT của đất đá trong một hệ thống thống nhất, phù hợp với yêu cầu tích hợp và khai thác dữ liệu trong điều kiện đô thị.

2.2. Cơ sở khoa học phân vị địa tầng địa chất công trình

Hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT được xây dựng theo cách tiếp cận hệ thống, trong đó các đơn vị địa tầng được phân định trên cơ sở kết hợp các tiêu chí về hệ tầng - nguồn gốc, thành phần vật chất và tính chất địa chất công trình.

Nhóm tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc đóng vai trò nền tảng, phản ánh bối cảnh địa chất và điều kiện thành tạo, bao gồm các yếu tố như tuổi và nguồn gốc trầm tích. Việc kế thừa khung địa tầng địa chất bảo đảm tính liên tục không gian, khả năng đối sánh với các tài liệu địa chất hiện có và tính nhất quán trong tổ chức các đơn vị địa tầng ĐCCT.

Nhóm tiêu chí về thành phần vật chất phản ánh đặc trưng thạch học và cấu trúc của đất đá, thông qua các yếu tố như thành phần hạt, đặc điểm mô tả và tổ hợp vật chất. Các tiêu chí này cho phép nhận diện sự khác biệt về vật liệu trong phạm vi một hệ tầng và một kiểu nguồn gốc, tạo cơ sở cho việc phân định các đơn vị địa tầng có ý nghĩa trong mô tả và đối sánh.

Nhóm tiêu chí về tính chất ĐCCT phản ánh trực tiếp các đặc trưng chi phối tính chất xây dựng của đất đá, bao gồm trạng thái, độ chặt và các chỉ tiêu cơ lý đặc trưng. Ở mức độ chi tiết hơn, các đơn vị địa tầng có thể được xác lập trên cơ sở đồng nhất thống kê về chỉ tiêu cơ lý.

Trên cơ sở ba nhóm tiêu chí nêu trên, các đơn vị địa tầng ĐCCT được tổ chức theo các mục tiêu và mức độ chi tiết nghiên cứu khác nhau. Ở mức tổng quát, các phân vị phản ánh sự đồng nhất về tuổi và nguồn gốc trầm tích; ở các mức chi tiết hơn, các phân vị thể hiện đồng nhất về thành phần vật chất và tính chất cơ lý của đất đá, phục vụ trực tiếp cho các bài toán địa kỹ thuật. Cách tổ chức này cho phép sử dụng linh hoạt các phân vị tùy theo mục tiêu nghiên cứu, từ quy hoạch, đánh giá tổng thể đến thiết kế và thi công công trình.

Bên cạnh đó, hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT còn tạo cơ sở cho việc chuẩn hóa và mã hóa thông tin địa tầng. Mỗi đơn vị địa tầng được nhận diện thông qua tổ hợp các đặc trưng thuộc ba nhóm tiêu chí, cho phép xây dựng cấu trúc mã định danh có khả năng tích hợp trực tiếp vào cơ sở dữ liệu và các mô hình không gian địa tầng. Điều này đặc biệt có ý nghĩa trong bối cảnh phát triển cơ sở dữ liệu ĐCCT, mô hình hóa địa tầng số và ứng dụng các công nghệ số trong quản lý và phát triển đô thị.

Hệ thống phân vị và các tiêu chí phân định tương ứng được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1 cho thấy các phân vị địa tầng ĐCCT được xác lập trên cơ sở kết hợp các nhóm tiêu chí có bản chất khác nhau nhưng có mối liên hệ chặt chẽ. Nhóm tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc giữ vai trò nền tảng.

Bảng 1. Hệ thống phân vị và tiêu chí phân định địa tầng địa chất công trình.

Nhóm tiêu chí	Nội dung phân vị	Đặc trưng phân định	Cơ sở phân định
Địa tầng - nguồn gốc.	Hệ tầng	Đồng nhất về tuổi địa chất, bối cảnh trầm tích và đặc trưng thạch học tổng quát	Theo hệ tầng địa chất, tài liệu và bản đồ địa chất khu vực
	Nguồn gốc (phụ hệ tầng)	Đồng nhất về môi trường và cơ chế thành tạo trầm tích	Theo kiểu nguồn gốc (sông, biển, hồ, đầm lầy, ...)
Thành phần vật chất.	Loại đất	Đồng nhất về thành phần vật chất, thành phần hạt và đặc trưng thạch học	Theo phân loại đất hiện hành (TCVN 5746:2024)
Tính chất ĐCCT.	Lớp đất	Đồng nhất tương đối về trạng thái (đất dính) hoặc độ chặt (đất rời), các chỉ tiêu cơ lý trong khoảng biến thiên cho phép	Theo trạng thái hoặc độ chặt và các chỉ tiêu cơ lý đặc trưng
	Đơn vị phụ (phụ lớp)	Đồng nhất thống kê về chỉ tiêu cơ lý	Theo phân tích thống kê tập hợp mẫu (giá trị tiêu chuẩn, độ lệch chuẩn, phân bố)

Nhóm tiêu chí thành phần vật chất cho phép phân biệt các loại đất trên cơ sở đặc trưng thạch học, trong khi nhóm tiêu chí về tính chất địa chất công trình phản ánh trực tiếp trạng thái và tính chất cơ lý của đất phục vụ thiết kế và xây dựng.

Sự kết hợp các nhóm tiêu chí này cho phép tổ chức các đơn vị địa tầng theo các mức độ đồng nhất khác nhau, từ tổng quát đến chi tiết, đồng thời bảo đảm tính kế thừa địa tầng địa chất và khả năng ứng dụng trong phân tích, thiết kế và quản lý dữ liệu ĐCCT.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện theo cách tiếp cận hệ thống, trong đó việc xây dựng hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng ĐCCT được triển khai thông qua chuỗi các bước liên hoàn, từ tổng hợp dữ liệu đầu vào, phân tích đặc trưng địa chất - ĐCCT đến tổ chức các đơn vị địa tầng theo các mức độ đồng nhất và thiết kế cấu trúc mã định danh.

Bước 1. Tổng hợp và phân tích tài liệu địa chất – ĐCCT

Các tài liệu địa chất, địa chất công trình và kết quả khảo sát đã công bố trong khu vực đô thị Hà Nội được thu thập và hệ thống hóa, bao gồm bản đồ địa chất, mặt cắt địa chất, tài liệu khoan khảo sát, thí nghiệm trong phòng và thí nghiệm hiện trường. Trên cơ sở đó, khung địa tầng địa chất Đệ Tứ được xác lập làm nền tảng cho việc đối sánh và tổ chức các đơn vị địa tầng ĐCCT.

Bước 2. Đối sánh địa tầng và chuẩn hóa dữ liệu khảo sát

Các dữ liệu khảo sát ĐCCT từ nhiều nguồn khác nhau được đối sánh theo khung địa tầng đã xác lập, nhằm xác định mối liên hệ giữa các lớp đất theo tài liệu khảo sát với hệ tầng và nguồn gốc trầm tích tương ứng. Quá trình chuẩn hóa dữ liệu được thực hiện nhằm thống nhất thuật ngữ, phân loại đất, mô tả trạng thái và hệ chỉ tiêu cơ lý theo các tiêu chuẩn hiện hành, tạo lập tập dữ liệu đầu vào đồng nhất.

Bước 3. Phân tích các nhóm tiêu chí phân vị địa tầng ĐCCT

Trên cơ sở tập dữ liệu đã chuẩn hóa, các đơn vị địa tầng được phân tích theo ba nhóm tiêu chí chính. Nhóm tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc được sử dụng để xác định bối cảnh địa chất và điều kiện thành tạo trầm tích. Nhóm tiêu chí thành phần vật chất được sử dụng để nhận diện các loại đất dựa trên đặc trưng thạch học và thành phần hạt. Nhóm tiêu chí về tính chất ĐCCT được sử dụng để đánh giá trạng thái, độ chặt và các chỉ tiêu cơ lý đặc trưng của đất, đồng thời phân tích sự biến thiên nội tại thông qua các phương pháp thống kê tập hợp mẫu.

Bước 4. Tổ chức các đơn vị địa tầng theo các nhóm tiêu chí và mức độ chi tiết nghiên cứu

Dựa trên kết quả phân tích các nhóm tiêu chí, các đơn vị địa tầng ĐCCT được xác lập và tổ chức từ các phân vị tổng quát đến các đơn vị chi tiết. Việc tổ chức này bảo đảm tính kế thừa địa tầng địa chất, đồng thời phản ánh đầy đủ đặc trưng vật chất và tính chất cơ lý của đất đá.

Bước 5. Xây dựng cấu trúc mã định danh (ID)

Trên nền tảng hệ thống phân vị, cấu trúc mã định danh địa tầng ĐCCT được thiết kế theo hướng tích hợp các thông tin thuộc ba nhóm tiêu chí, bao gồm hệ tầng - nguồn gốc, đặc trưng vật chất và trạng thái - tính chất cơ lý. Mã ID được xây dựng bảo đảm tính ngắn gọn, dễ sử dụng, đồng thời có khả năng mở rộng phục vụ tích hợp trong các cơ sở dữ liệu và mô hình không gian.

Bước 6. Kiểm chứng và minh họa

Hệ thống phân vị và mã định danh được kiểm chứng thông qua việc áp dụng vào các trường hợp địa tầng điển hình trong khu vực nghiên cứu. Việc kiểm chứng dựa trên so sánh giữa kết quả phân định địa tầng theo hệ thống đề xuất với tài liệu khảo sát thực tế, qua đó đánh giá tính phù hợp, tính nhất quán và khả năng ứng dụng của hệ thống trong điều kiện đô thị.

3. Hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng ĐCCT khu vực đô thị Hà Nội

3.1. Cơ sở địa tầng địa chất và ĐCCT khu vực đô thị Hà Nội

Khu vực đô thị Hà Nội nằm trong phạm vi đồng bằng châu thổ sông Hồng, nơi phát triển hệ thống trầm tích Đệ Tứ có bề dày lớn, nguồn gốc thành tạo đa dạng và cấu trúc địa tầng phức tạp. Quá trình hình thành các trầm tích này gắn liền với sự biến đổi mực nước biển, chế độ động lực sông và điều kiện cổ môi trường qua các giai đoạn khác nhau của Đệ Tứ, tạo nên sự phân dị rõ rệt theo không gian và chiều sâu (Hoàng, 2005).

Theo các tài liệu địa chất khu vực (Ngô, 1994), trầm tích Đệ Tứ khu vực Hà Nội được phân chia thành các hệ tầng: Lệ Chi (Q_{1lc}), Hà Nội ($Q_{1^{2-3}hn}$), Vĩnh Phúc (Q_1^{3vp}), Hải Hưng (Q_2^{1-2hh}) và Thái Bình (Q_2^{3tb}). Mỗi hệ tầng phản ánh một giai đoạn trầm tích với đặc trưng riêng về môi trường thành tạo, bao gồm các kiểu nguồn gốc như sông, sông - lũ, sông - biển, biển, hồ - đầm lầy. Trong phạm vi mỗi hệ tầng, trầm tích thường bao gồm nhiều tổ hợp vật chất khác nhau, dẫn đến sự biến đổi đáng kể về thành phần, trạng thái và các tính chất cơ lý của đất.

Các kết quả khảo sát ĐCCT đã công bố (Nguyễn, 2004) cho thấy địa tầng khu vực Hà Nội có tính bất đồng nhất cao, thể hiện qua sự xen kẽ phức tạp giữa các loại đất, sự biến đổi trạng thái

theo chiều sâu và sự phân bố không liên tục theo không gian. Trong nhiều trường hợp, cùng một hệ tầng hoặc cùng một nguồn gốc trầm tích có thể bao gồm nhiều loại đất với đặc trưng cơ lý khác nhau, gây khó khăn cho việc đối sánh và tổng hợp dữ liệu giữa các công trình khảo sát.

Trong các nghiên cứu trước đây (Nguyễn, 2004; Nhữ, 2020), địa tầng ĐCCT khu vực Hà Nội thường được mô tả dưới dạng các lớp đất phục vụ trực tiếp cho thiết kế công trình. Mặc dù cách tiếp cận này có ý nghĩa thực tiễn, nhưng còn hạn chế trong việc thể hiện mối quan hệ giữa địa tầng địa chất, nguồn gốc trầm tích và đặc trưng tính chất cơ lý của đất, đặc biệt khi cần tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau.

Trên cơ sở đó, trong nghiên cứu này, khung địa tầng địa chất Đệ Tứ được sử dụng làm nền tảng cho việc tổ chức các đơn vị địa tầng ĐCCT. Đồng thời, các đặc trưng về nguồn gốc trầm tích, thành phần vật chất và tính chất cơ lý của đất được xem xét một cách tổng hợp, làm cơ sở để xây dựng hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT theo các mức độ đồng nhất khác nhau, phù hợp với yêu cầu tích hợp và quản lý dữ liệu trong điều kiện đô thị.

3.2. Nguyên tắc xây dựng hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT khu vực đô thị Hà Nội

Hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT khu vực đô thị Hà Nội được xây dựng trên cơ sở kế thừa các quan điểm của địa tầng địa chất, địa chất công trình và cách tiếp cận hệ thống, nhằm bảo đảm tính khoa học, tính nhất quán và khả năng ứng dụng trong khảo sát, thiết kế và quản lý dữ liệu ĐCCT. Việc xây dựng hệ thống được định hướng bởi các nguyên tắc chủ yếu sau:

(1) Nguyên tắc kế thừa khung địa tầng địa chất

Khung địa tầng địa chất Đệ Tứ được sử dụng làm nền tảng để xác lập các đơn vị địa tầng ĐCCT. Các hệ tầng và đặc trưng nguồn gốc trầm tích đóng vai trò định hướng trong việc tổ chức các phân vị tổng quát, làm cơ sở đối sánh với các tài liệu địa chất khu vực.

(2) Nguyên tắc kết hợp các nhóm tiêu chí phân vị

Các đơn vị địa tầng ĐCCT được xác lập trên cơ sở kết hợp ba nhóm tiêu chí gồm: hệ tầng - nguồn gốc, thành phần vật chất và tính chất địa chất công trình. Mỗi nhóm tiêu chí phản ánh một khía cạnh khác nhau của đất đá. Việc kết hợp các nhóm tiêu

chỉ cho phép nhận diện đầy đủ các đặc trưng của địa tầng ĐCCT, đồng thời hạn chế việc phân định mang tính đơn lẻ theo từng tiêu chí riêng biệt.

(3) Nguyên tắc bảo đảm tính liên kết và nhất quán của hệ thống

Các phân vị địa tầng được tổ chức trong một hệ thống thống nhất, trong đó các đơn vị chi tiết được xác lập trong phạm vi các đơn vị tổng quát hơn. Việc phân định cần bảo đảm tính liên kết giữa các phân vị theo cả chiều không gian và logic, tránh sự chông chéo hoặc mâu thuẫn giữa các tiêu chí. Đồng thời, hệ thống cần bảo đảm tính nhất quán trong nhận diện và ký hiệu giữa các tài liệu khảo sát khác nhau.

(4) Nguyên tắc phục vụ ứng dụng và tích hợp dữ liệu

Hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT được xây dựng nhằm phục vụ trực tiếp cho khảo sát, thiết kế và quản lý xây dựng trong điều kiện đô thị. Do đó, các phân vị cần có khả năng sử dụng linh hoạt theo mục tiêu nghiên cứu, đồng thời thuận lợi cho việc mã hóa, lưu trữ và tích hợp dữ liệu trong các cơ sở dữ liệu và mô hình không gian. Nguyên tắc này bảo đảm tính thực tiễn và khả năng mở rộng của hệ thống.

Các nguyên tắc này tạo cơ sở cho việc xây dựng một hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT vừa phản ánh đúng bản chất địa tầng học, vừa đáp ứng yêu cầu tích hợp và khai thác dữ liệu trong môi trường số.

3.3. Cấu trúc hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT khu vực đô thị Hà Nội

Bảng 2. Cấu trúc hệ thống phân vị địa tầng địa chất công trình khu vực đô thị Hà Nội.

Nhóm tiêu chí	Nội dung phân vị	Nội dung phản ánh	Vai trò trong hệ thống
Địa tầng - nguồn gốc	Hệ tầng	Các hệ tầng Đệ Tứ khu vực Hà Nội: Lệ Chi, Hà Nội, Vĩnh Phúc, Hải Hưng, Thái Bình.	Khung địa tầng nền tảng
	Nguồn gốc trầm tích (phụ hệ tầng)	Môi trường và cơ chế trầm tích: sông, sông - lũ, sông - biển, biển, hồ - đầm lầy.	Phân hóa trong phạm vi hệ tầng
Thành phần vật chất	Loại đất	Thành phần hạt, đặc điểm thạch học và thành phần phụ (lấn hữu cơ; lấn sỏi, sạn, ...)	Nhận diện loại đất
Tính chất ĐCCT	Lớp đất	Trạng thái và các chỉ tiêu cơ lý đặc trưng cho một loại đất	Phục vụ phân tích, thiết kế
	Đơn vị phụ (phụ lớp)	Sự đồng nhất thống kê về chỉ tiêu cơ lý	Phục vụ phân tích chi tiết, thiết kế kỹ thuật - lập bản vẽ thi công

Trên cơ sở các nguyên tắc đã trình bày và đặc điểm địa tầng Đệ Tứ khu vực đô thị Hà Nội, hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT được tổ chức theo một cấu trúc thống nhất. Trong đó, các đơn vị địa tầng được xác lập trên cơ sở kết hợp ba nhóm tiêu chí gồm: hệ tầng - nguồn gốc, thành phần vật chất và tính chất ĐCCT.

Đặc trưng trầm tích Đệ Tứ khu vực Hà Nội với sự phân bố của các hệ tầng: Lệ Chi, Hà Nội, Vĩnh Phúc, Hải Hưng và Thái Bình, cùng với sự đa dạng về nguồn gốc (sông, sông - lũ, sông - biển, hồ - đầm lầy), là cơ sở để xác lập các phân vị địa tầng theo nhóm tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc.

Trên nền tảng đó, các nhóm tiêu chí thành phần vật chất và tính chất địa chất công trình cho phép phân định các đơn vị địa tầng ở các mức độ đồng nhất chi tiết hơn.

Sự kết hợp các nhóm tiêu chí này cho phép tổ chức các đơn vị địa tầng theo các mức độ đồng nhất khác nhau, phù hợp với đặc điểm địa tầng phức tạp, phân bố không đồng nhất của trầm tích Đệ Tứ khu vực Hà Nội.

Cấu trúc hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT khu vực đô thị Hà Nội được tổng hợp trong Bảng 2.

Cấu trúc hệ thống phân vị này cho phép liên kết chặt chẽ giữa các yếu tố địa tầng địa chất, đặc trưng vật chất và tính chất cơ lý của đất trong một chỉnh thể thống nhất. Nhờ đó, các đơn vị địa tầng ĐCCT có thể được nhận diện một cách nhất quán trong các điều kiện khảo sát khác nhau, đồng thời tạo cơ sở cho việc chuẩn hóa và tích hợp dữ liệu trong các cơ sở dữ liệu và mô hình không gian.

3.4. Xây dựng mã định danh (ID) địa tầng địa chất công trình khu vực đô thị Hà Nội

3.4.1. Cơ sở và nguyên tắc xây dựng mã định danh

Trên cơ sở hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT đã được thiết lập, việc xây dựng mã định danh (ID) nhằm chuẩn hóa công tác nhận diện, đối sánh và tích hợp dữ liệu địa tầng trong điều kiện các tài liệu khảo sát được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau với mức độ chi tiết không đồng nhất. Khác với các ký hiệu lớp đất mang tính mô tả truyền thống, mã định danh được thiết kế như một cấu trúc thông tin có tổ chức, có khả năng sử dụng trực tiếp trong các cơ sở dữ liệu và mô hình không gian.

Mã định danh địa tầng ĐCCT được xây dựng trên cơ sở kết hợp ba nhóm tiêu chí chính, bao gồm: (i) hệ tầng - nguồn gốc; (ii) thành phần vật chất; và (iii) tính chất địa chất công trình. Mỗi nhóm tiêu chí phản ánh một khía cạnh đặc trưng của đơn vị địa tầng, đồng thời được mã hóa thành các thành phần thông tin tương ứng trong cấu trúc mã.

Việc xây dựng mã định danh tuân theo các nguyên tắc chủ yếu sau:

(1) Phản ánh cấu trúc phân vị địa tầng

Mỗi mã ID thể hiện tổ hợp các đặc trưng cơ bản của đơn vị địa tầng theo ba nhóm tiêu chí, bảo đảm khả năng nhận diện đầy đủ vị trí địa tầng và đặc trưng ĐCCT của đất.

(2) Tính ngắn gọn và dễ sử dụng

Mã được xây dựng dưới dạng ký hiệu ngắn gọn, dễ đọc, thuận tiện trong biểu diễn trên bản đồ, mặt cắt và trong các bảng dữ liệu.

(3) Tính nhất quán và chuẩn hóa

Các thành phần mã được quy ước thống nhất, cho phép sử dụng đồng bộ trong các tài liệu khảo sát và hệ thống dữ liệu ĐCCT.

(4) Tính mở và khả năng mở rộng

Cấu trúc mã cho phép bổ sung thông tin chi tiết hơn khi cần thiết mà không làm thay đổi cấu

trúc tổng thể, phù hợp với yêu cầu cập nhật và mở rộng dữ liệu.

3.4.2. Cấu trúc mã ID và ý nghĩa các thành phần

Mã định danh địa tầng ĐCCT được xây dựng theo cấu trúc gồm ba nhóm thông tin chính, tương ứng với ba nhóm tiêu chí phân vị, sắp xếp theo thứ tự từ tổng quát đến chi tiết: [Hệ tầng - nguồn gốc] - [Thành phần vật chất] - [Trạng thái, tính chất].

Nhóm (1): [Hệ tầng - nguồn gốc], phản ánh vị trí của phân vị địa tầng trong khung địa tầng Đệ Tứ và kiểu nguồn gốc thành tạo. Trong đó, thành phần nguồn gốc được mã hóa bằng chữ cái thường trên cơ sở kế thừa cách ký hiệu nguồn gốc trong bản đồ ĐCCT (IAEG, 1976; Sergeev, 1980; Dearman, 1991) như Bảng 3; thành phần hệ tầng được mã hóa bằng chữ cái hoa (viết tắt hệ tầng) như Bảng 4.

Nhóm (2): [Thành phần vật chất], cho biết thành phần và đặc trưng thạch học của đất, được thể hiện thông qua loại đất theo hệ thống phân loại hiện hành như Bảng 5 (theo phân loại trong tiêu chuẩn TCVN 5746:2024).

Nhóm (3): [Trạng thái, tính chất] phản ánh trực tiếp tính chất xây dựng của đất. Trong đó, trạng thái (với đất dính) hoặc độ chặt (với đất rời) được ký hiệu ID như Bảng 5. Trong trường hợp cần thiết, có thể bổ sung ký hiệu cho đơn vị phụ (phụ lớp) nhằm phản ánh sự đồng nhất thống kê về chỉ tiêu cơ lý. Nhóm thông tin này có ý nghĩa trực tiếp cho phân tích và thiết kế địa kỹ thuật.

Hệ thống mã ID cho phép người sử dụng nhanh chóng nhận diện hệ tầng - nguồn gốc, thành phần và tính chất xây dựng cơ bản của địa tầng.

Ghi chú: Trường hợp tên gọi của đất có mô tả thành phần phụ thì ký hiệu thành phần này được gạch dưới và đứng ngay sau thành phần chính. Ví dụ: Cuội lẫn sỏi: Co_{Gr}; Trường hợp phân loại đất thuộc đất bùn thì mã ID cho trạng thái thay bằng "Pt". Ví dụ: Bùn sét: Cl - Pt;

Mã ID được sử dụng thống nhất để ký hiệu các đơn vị địa tầng trên bản đồ, mặt cắt ĐCCT, bảng phân loại địa tầng bảng tổng hợp chỉ tiêu cơ lý và trong các cơ sở dữ liệu ĐCCT.

Bảng 3. Ký hiệu nguồn gốc trầm tích sử dụng trong mã ID.

Nguồn gốc	Tàn tích	Sườn tích	Lũ tích	Bồi tích	Biển tích	Hồ tích	Đầm lầy	Nhân sinh
Ký hiệu ID	e	d	p	a	m	l	b	n

Bảng 4. Nhóm mã ID cho hệ tầng, nguồn gốc áp dụng cho địa tầng Đệ tứ khu vực Hà Nội.

Hệ tầng	Nguồn gốc	Ký hiệu địa chất	Mã định danh - ID
Trầm tích Nhân sinh		nQ_2	Q-n
Thái Bình	Ao hồ hiện đại	$lQ_2^3tb_2$	TB-l
	Sông hiện đại	$aQ_2^3tb_2$	TB-a
	Sông - hồ - đầm lầy	$alb Q_2^3tb_1$	TB-alb
	Sông	$aQ_2^3tb_1$	TB-a
Hải Hưng	Biển	$mQ_2^{1-2}hh_2$	HH-m
	Sông - biển - đầm lầy	$ambQ_2^{1-2}hh_2$	HH-amb
	Hồ - đầm lầy	$lbQ_2^{1-2}hh_1$	HH-lb
Hệ tầng Vĩnh Phúc	Sông - biển	amQ_1^3vp	VP-am
	Sông - hồ - đầm lầy	$albQ_1^3vp$	VP-alb
	Sông	aQ_1^3vp	VP-a
Hệ tầng Hà Nội	Sông	$aQ_1^{2-3}hn$	HN-a
	Sông - lũ	$apQ_1^{2-3}hn$	HN-ap
Hệ tầng Lệ Chi	Sông	aQ_1^1lc	LC-a
Hệ Đệ Tứ không phân chia (Q)		edQ	Q-ed

Bảng 5. Hệ thống mã ID cho loại đất và trạng thái/độ chặt sử dụng trong định danh địa tầng ĐCCT.

Loại - dạng đất		Mã ID	Trạng thái/Độ chặt		Mã ID
Đất rời	Cuội	Co	Độ chặt	Rất chặt	Dv
	Sỏi	Gr		Chặt	Dn
	Cát thô	CSa		Chặt vừa	Dm
	Cát vừa	MSa		Rời	Ls
	Cát mịn	FSa		Không xác định	0
	Cát bụi	SSa			
Đất dính	Cát pha	mSa	Trạng thái	Cứng	Hd
	Sét pha	mCl		Nửa cứng	Stv
	Sét	Cl		Đẻo cứng	St
				Đẻo mềm	Fm
	Bùn	Pt		Đẻo chảy	Sf
	Hỗn tạp	Mx		Đẻo	Pl
				Chảy	Sfv

3.5. Tiêu chí nhận diện đơn vị địa tầng địa chất công trình khu vực đô thị Hà Nội

3.5.1. Mục đích và nguyên tắc nhận diện

Việc xây dựng tiêu chí nhận diện các đơn vị địa tầng ĐCCT nhằm bảo đảm quá trình phân định và định danh địa tầng được thực hiện một cách thống nhất, khách quan và có khả năng đối sánh giữa các nguồn dữ liệu khảo sát khác nhau. Các tiêu chí nhận diện đóng vai trò là cầu nối giữa hệ thống phân vị địa tầng và công tác mô tả, phân chia địa tầng trong thực tiễn khảo sát ĐCCT.

Việc nhận diện các đơn vị địa tầng được thực

hiện trên cơ sở kết hợp ba nhóm tiêu chí gồm: hệ tầng - nguồn gốc, thành phần vật chất và tính chất địa chất công trình. Mức độ yêu cầu về thông tin định lượng tăng dần theo mức độ đồng nhất của các đơn vị địa tầng, từ các đặc trưng tổng quát về hệ tầng - nguồn gốc đến các đặc trưng chi tiết về tính chất cơ lý của đất.

Nguyên tắc chung trong nhận diện địa tầng ĐCCT bao gồm: (i) Kết hợp các tiêu chí định tính và định lượng; (ii) Bảo đảm tính kế thừa và liên kết với khung địa tầng địa chất của khu vực; (iii) Hạn chế yếu tố chủ quan trong mô tả thông qua việc sử dụng các tiêu chí rõ ràng và có thể kiểm chứng; (iv)

Bảo đảm tính nhất quán trong nhận diện giữa các tài liệu khảo sát khác nhau.

3.5.2. Tiêu chí nhận diện

Việc nhận diện các đơn vị địa tầng ĐCCT được thực hiện theo ba nhóm tiêu chí chính:

(1) Nhóm tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc

Các tiêu chí nhận diện tập trung vào việc xác định vị trí của đơn vị địa tầng trong khung địa tầng địa chất và điều kiện thành tạo trầm tích. Việc nhận diện được thực hiện thông qua: đối sánh với bản đồ và tài liệu địa chất khu vực; xác định hệ tầng địa chất trên cơ sở vị trí địa tầng và đặc trưng thạch học tổng quát; nhận diện nguồn gốc trầm tích dựa trên đặc điểm vật chất, cấu trúc trầm tích và mối quan hệ địa tầng.

(2) Nhóm tiêu chí thành phần vật chất

Tiêu chí nhận diện tập trung vào đặc trưng thạch học và thành phần của đất, bao gồm: thành phần hạt và loại đất chủ yếu; màu sắc, cấu trúc và các đặc điểm mô tả tại hiện trường; thành phần phụ và các yếu tố đặc trưng khác (hữu cơ, xen kẹp,...).

Việc nhận diện được thực hiện thông qua mô tả hiện trường kết hợp với kết quả thí nghiệm phân loại đất trong phòng theo các tiêu chuẩn hiện hành.

(3) Nhóm tiêu chí về tính chất địa chất công trình

Các tiêu chí nhận diện tập trung vào các đặc điểm về trạng thái và tính chất cơ lý của đất, dùng cho nhận diện lớp đất.

Ở mức độ chi tiết hơn, việc nhận diện được thực hiện trên cơ sở phân tích thống kê tập hợp mẫu thí nghiệm, bao gồm đánh giá giá trị tiêu chuẩn, độ lệch chuẩn và dạng phân bố của các chỉ tiêu cơ lý, nhằm xác định các đơn vị có mức độ đồng nhất cao.

Tổng hợp tiêu chí nhận diện các đơn vị địa tầng được thể hiện trong Bảng 6.

3.5.3. Minh họa nhận diện và định danh địa tầng ĐCCT khu vực đô thị Hà Nội

Để minh họa khả năng áp dụng của hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng ĐCCT, việc nhận diện các đơn vị địa tầng được thực hiện trên cơ sở kết hợp tuần tự ba nhóm tiêu chí gồm: hệ tầng - nguồn gốc, thành phần vật chất và tính chất ĐCCT.

Trước hết, đơn vị địa tầng được định vị trong khung địa tầng Đệ tứ thông qua việc xác định hệ tầng và nguồn gốc trầm tích trên cơ sở đối sánh với tài liệu địa chất khu vực. Tiếp theo, đặc trưng vật chất của đất được xác định nhằm phân biệt các loại đất trong cùng hệ tầng - nguồn gốc. Cuối cùng, trạng thái và các chỉ tiêu cơ lý được sử dụng để phân chia các lớp đất. Điều này cho phép nhận diện các đơn vị địa tầng ĐCCT một cách nhất quán và tạo cơ sở cho việc gán mã định danh theo cấu trúc đã đề xuất.

Bảng 6. Tiêu chí nhận diện các đơn vị địa tầng ĐCCT.

Nhóm tiêu chí	Nội dung nhận diện	Dấu hiệu/tiêu chí	Cơ sở xác định
Địa tầng - nguồn gốc.	Hệ tầng địa chất	Vị trí địa tầng, quan hệ trên - dưới, tầng đánh dấu và đặc trưng thạch học tổng quát.	Bản đồ và mặt cắt địa chất Đệ tứ, các tài liệu nghiên cứu về địa tầng.
	Nguồn gốc	Đặc điểm cấu tạo, thành phần vật chất đặc trưng, môi trường thành tạo.	Mô tả hiện trường, phân tích trầm tích, tài liệu nghiên cứu về địa tầng.
Thành phần vật chất.	Loại đất	Đặc điểm thành phần hạt, giới hạn Atterberg; các đặc điểm mô tả về màu sắc, mức độ đồng nhất, sự xen kẹp.	Thí nghiệm phân loại đất (thành phần hạt, giới hạn Atterberg), mô tả mẫu.
Tính chất ĐCCT.	Trạng thái	Đặc điểm mô tả về trạng thái hay độ chặt; cùng khoảng trạng thái theo chỉ tiêu độ sệt (I_L) hay độ chặt (D_r) được quy định trong tiêu chuẩn hiện hành; Mức độ phân tán chỉ tiêu nằm trong giới hạn cho phép.	Mô tả hiện trường; Kết quả thí nghiệm hiện trường và thí nghiệm trong phòng.
	Tính chất cơ lý	Đồng nhất thống kê về chỉ tiêu cơ lý: hàm phân phối, độ lệch chuẩn, hệ số biến đổi.	Phân tích thống kê tập hợp mẫu.

Để kiểm chứng khả năng áp dụng của hệ thống phân vị và mã định danh, Bảng 7 trình bày ví dụ nhận diện và định danh địa tầng ĐCCT tại hố khoan HK1 (Viện Nền móng và Công trình ngầm, 2019). Trong đó, mỗi lớp đất được nhận diện theo ba nhóm tiêu chí: (i) hệ tầng - nguồn gốc, (ii) loại đất và (iii) trạng thái hoặc độ chặt.

Nhóm tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc được xác định thông qua đối sánh giữa tài liệu khảo sát ĐCCT với tài liệu địa chất Đệ Tứ khu vực. Nhóm tiêu chí thành phần vật chất và tính chất địa chất công trình được xác định dựa trên tài liệu khoan khảo sát, thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn và các thí nghiệm trong phòng theo tiêu chuẩn hiện hành (TCVN 5746:2024).

Kết quả minh họa cho thấy hệ thống phân vị và mã định danh cho phép nhận diện rõ ràng các đơn vị địa tầng, đồng thời phản ánh được mối quan hệ giữa bối cảnh địa chất, đặc trưng vật chất

và tính chất cơ lý của đất trong điều kiện thực tế khảo sát.

4. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy cách tiếp cận hệ thống trong xây dựng hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng ĐCCT cho phép tổ chức địa tầng một cách khoa học, đồng thời thiết lập mối liên kết chặt chẽ giữa địa tầng địa chất và đặc trưng địa chất công trình của đất đá.

Hệ thống phân vị địa tầng ĐCCT không thay thế các tiêu chuẩn phân loại đất hiện hành, mà đóng vai trò bổ sung, cho phép tích hợp giữa thông tin địa chất (hệ tầng, nguồn gốc) với các đặc trưng về thành phần và tính chất cơ lý của đất. Cách tiếp cận này đặc biệt có ý nghĩa trong bối cảnh dữ liệu ĐCCT được thu thập từ nhiều dự án khảo sát với mức độ chi tiết và phương pháp khác nhau.

Bảng 7. Minh họa nhận diện và định danh địa tầng ĐCCT (Hố khoan HK1, Số 1152, Đường Láng).

TT	Các đặc điểm mô tả lớp đất	Mã ID theo nhóm tiêu chí			Mã ID lớp
		Hệ tầng, nguồn gốc	Loại đất	Trạng thái	
1	Từ 0÷1,5 m: Đất lấp: thành phần hỗn tạp, trạng thái không đều.	Q-n	Mx	0	Q-n-Mx-0
2	Từ 1,5÷7,8 m: Đất nguồn gốc sông, hệ tầng Thái Bình: Sét pha xen kẹp cát pha, cát màu nâu xám, trạng thái dẻo mềm	TB-a	mCl	Fm	TB-a-mCl-Fm
3	Từ 7,8÷15,5 m: Đất nguồn gốc sông, hệ tầng Thái Bình: Cát mịn, xám xanh, trạng thái chặt vừa	TB-a	FSa	Dm	TB-a-FSa-Dm
4	Từ 15,5÷18 m: Đất nguồn gốc hỗn hợp sông-biển-đầm lầy, hệ tầng Hải Hưng: Sét pha xám đen, lẫn hữu cơ, trạng thái dẻo chảy.	HH-amb	mCl	Sf	HH-amb-mCl-Sf
5	Từ 18÷20,5 m: Đất nguồn gốc hỗn hợp sông-hồ-đầm lầy, hệ tầng Vĩnh Phúc: Sét xám xanh, xám trắng, trạng thái dẻo cứng.	VP-alb	mCl	St	VP-alb-mCl-St
6	Từ 20,5÷24,5 m: Đất nguồn gốc sông, hệ tầng Vĩnh Phúc: Cát pha xen kẹp sét pha, cát xám vàng, trạng thái dẻo	VP-a	mSa	Pl	VP-a-mSa-Pl
7	Từ 24,5÷30,5 m: Đất nguồn gốc sông, hệ tầng Vĩnh Phúc: Cát mịn, nâu vàng, chặt vừa	VP-a	FSa	Dm	VP-a-FSa-Dm
8	Từ 30,5÷42 m: Đất nguồn gốc sông, hệ tầng Vĩnh Phúc: Cát vừa lẫn sạn, sỏi, xám vàng, xám trắng, chặt.	VP-a	MSa	Dn	VP-a-MSa-Dn
9	Từ 42÷50 m: Đất nguồn gốc sông-lũ, hệ tầng Hà Nội: Cuội sỏi lẫn cát, màu xám, xám vàng, rất chặt.	HN-ap	Co	Dv	HN-ap-Co-Dv

Đối với khu vực đô thị Hà Nội, hệ thống phân vị và mã định danh thể hiện rõ tính phù hợp với đặc điểm địa tầng Đệ Tứ có cấu trúc phức tạp, phân bố không đồng nhất và thường xen kẽ. Việc kết hợp các tiêu chí hệ tầng - nguồn gốc với các tiêu chí về thành phần vật chất và tính chất cơ lý cho phép nhận diện nhất quán các đơn vị địa tầng trong các điều kiện khảo sát khác nhau, qua đó hạn chế sự sai khác trong mô tả và ký hiệu lớp đất giữa các tài liệu.

Hệ thống mã định danh (ID) được xây dựng như một cấu trúc thông tin tích hợp, không chỉ đóng vai trò ký hiệu nhận dạng mà còn thể hiện các đặc trưng cơ bản của đơn vị địa tầng. Điều này cho phép sử dụng mã ID như một khóa liên kết trong các cơ sở dữ liệu ĐCCT và mô hình hóa không gian địa tầng, tạo tiền đề cho việc ứng dụng các công nghệ số trong quản lý và phát triển đô thị.

Kết quả minh họa cho thấy hệ thống phân vị và mã định danh có khả năng phản ánh tương đối đầy đủ đặc điểm ĐCCT của các trầm tích Đệ Tứ trong thực tế khảo sát.

Từ góc độ ứng dụng, hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng ĐCCT đề xuất tạo nền tảng thuận lợi cho việc xây dựng cơ sở dữ liệu ĐCCT cũng như mô hình địa tầng số.

5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất một cách tiếp cận hệ thống trong xây dựng hệ thống phân vị và mã định danh địa tầng địa chất công trình (ĐCCT) áp dụng cho khu vực đô thị Hà Nội, trên cơ sở kết hợp ba nhóm tiêu chí gồm: hệ tầng - nguồn gốc, thành phần vật chất và tính chất ĐCCT.

Trên nền tảng khung địa tầng địa chất Đệ Tứ khu vực Hà Nội, hệ thống phân vị được tổ chức theo các mức độ đồng nhất khác nhau, cho phép phản ánh đầy đủ mối quan hệ giữa tuổi, nguồn gốc, thành phần và tính chất cơ lý của đất. Cách tiếp cận này góp phần khắc phục hạn chế của việc mô tả địa tầng ĐCCT rời rạc trong các tài liệu khảo sát, đồng thời tạo cơ sở cho việc đối sánh và tích hợp dữ liệu giữa các dự án.

Mã định danh địa tầng ĐCCT được xây dựng như một cấu trúc thông tin tích hợp, thể hiện đồng thời các đặc trưng cơ bản của đơn vị địa tầng theo ba nhóm tiêu chí. Mã ID không chỉ đóng vai trò ký hiệu nhận dạng mà còn có khả năng sử dụng trực tiếp trong các cơ sở dữ liệu, góp phần chuẩn hóa và nâng cao hiệu quả quản lý dữ liệu ĐCCT.

Các kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học cho việc xây dựng cơ sở dữ liệu ĐCCT, mô hình hóa địa tầng số và tích hợp với các hệ thống thông tin phục vụ quản lý và phát triển đô thị. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần tiếp tục hoàn thiện hệ thống trên cơ sở mở rộng tập dữ liệu khảo sát, đồng thời phát triển các công cụ hỗ trợ tự động hóa việc nhận diện và định danh địa tầng ĐCCT.

Lời cảm ơn

Bài báo này được thực hiện trên cơ sở Dự án nghiên cứu mã số 2025/VNM&CTN-R&D-001.01 do Công ty Cổ phần Fecon tài trợ. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn các cơ quan, đơn vị và cá nhân đã cung cấp tài liệu, số liệu và những ý kiến trao đổi khoa học quý báu trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

Đóng góp của tác giả

Nguyễn Văn Phóng - đề xuất ý tưởng nghiên cứu, xây dựng định hướng và khung phương pháp tiếp cận; Phạm Thị Việt Nga, Phạm Thị Ngọc Hà - thực hiện tổng hợp và phân tích tài liệu; Nguyễn Văn Phóng, Nguyễn Song Thanh, Nguyễn Tiến Dũng - xây dựng hệ thống nguyên tắc khoa học, cấu trúc phân cấp địa tầng và mã định danh; đồng thời biên soạn, chỉnh sửa và hoàn thiện toàn bộ nội dung bản thảo bài báo. Nhóm tác giả chịu trách nhiệm về tính khoa học, tính chính xác của số liệu và các kết luận trình bày trong bài báo.

Tài liệu tham khảo

- ASTM International. (2017). *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)* (ASTM D2487-17).
- Bộ Khoa học và Công nghệ TCVN. (2024). *TCVN 5746:2024 Đất, đá xây dựng - Phân loại*.
- Bộ Khoa học và Công nghệ. (2009). *TCVN 8217:2009 Đất xây dựng công trình thủy lợi - Phân loại*.
- Dearman, W.R. (1991). *Engineering geological mapping*. Butterworth-Heinemann. ISBN: 978-0-7506-1010-0. Doi.org/10.1016/C2013-0-01209-1.

- European Committee for Standardization. (2004). *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules* (EN 1997-1). CEN.
- International Association of Engineering Geology (IAEG). (1976). *Engineering geological maps - A guide to their preparation*. UNESCO Press.
- Hoàng N. K. (chủ biên). (2005). *Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam tỷ lệ 1:200.000 (tờ F48-XXVII)*. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam.
- Nhữ V. H. (2020). Thách thức và tiếp cận mô hình ba chiều điều kiện địa chất công trình khu vực Hà Nội. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 61(2).
- Ngô Q. T. (1994). *Bản đồ địa chất và khoáng sản khu vực thành phố Hà Nội, tỷ lệ 1:50.000*. Liên đoàn Bản đồ và Địa chất miền Bắc.
- Nguyễn H. P. (chủ nhiệm), 2004. *Thu thập, kiểm chứng các tài liệu đã có, nghiên cứu bổ sung lập bản đồ phân vùng đất yếu Hà Nội phục vụ phát triển bền vững Thủ đô*. Báo cáo tổng kết đề tài KH&CN cấp thành phố Hà Nội, mã số TC-ĐT/06-02-3, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- Nguyễn, V. P., Bùi, T. S., Bùi, V. B., Nguyễn, S. T., Nguyễn, T. D. (2025). Nghiên cứu xây dựng hệ thống phân cấp và tiêu chí phân định địa tầng địa chất công trình. *Tuyển tập báo cáo Hội nghị toàn quốc VietGeo 2025*, 43-52.
- Phạm V. T. (2020). *Cơ sở phương pháp luận địa chất công trình*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- Sergeev, E. M. (1982). *Engineering Geology [Inzhenernaya geologiya]*. 2nd ed. Moscow: Moscow State University Publishing House. 248 p. [In Russian].
- Viện Nền móng và Công trình ngầm. (2019). *Báo cáo khảo sát địa chất công trình Tổ hợp văn phòng và nhà ở cho thuê - Số 1152, đường Láng, Hà Nội*. Tài liệu nội bộ.