

BỘ XÂY DỰNG
TRUNG TÂM CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Tổng luận chuyên đề

ĐẶC ĐIỂM ĐỊA LÝ CỦA VIỆC SỬ DỤNG
KHÔNG GIAN NGẦM Ở CÁC THÀNH PHỐ

LỜI GIỚI THIỆU

Do yêu cầu của đô thị hóa và nhằm giải quyết vấn đề thiếu không gian phát triển khi dân số đô thị ngày một tăng cao, nhiều thành phố trên thế giới đã và đang triển khai mạnh mẽ việc khai thác không gian ngầm. Các công trình đã được đưa xuống lòng đất như cơ sở hạ tầng dịch vụ - tiện ích ngầm, giao thông ngầm, các trung tâm mua sắm, văn hóa - giải trí... trở thành một bộ phận quan trọng của đời sống tại các thành phố lớn, hiện đại.

Thông qua việc sưu tầm, nghiên cứu tài liệu đã công bố của Viện Các Khoa học trái đất, thuộc Đại học quốc gia Xanh Petecbua (Liên bang Nga), với tựa đề " Đặc điểm địa lý của việc sử dụng không gian ngầm ở các thành phố", Trung tâm Công nghệ Thông tin đã dịch, biên tập thành cuốn tổng luận chuyên đề và giữ nguyên tên bản gốc với mục đích phổ biến tài liệu tham khảo cho các chuyên gia, các nhà quản lý trong lĩnh vực quy hoạch đô thị, quy hoạch xây dựng và phát triển đô thị của Việt Nam về vấn đề phát triển không gian ngầm đô thị/..

TRUNG TÂM CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Mở đầu	
CHƯƠNG I. SỬ DỤNG KHÔNG GIAN NGẦM ĐÔ THỊ TRONG BỐI CẢNH PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG	6
1.1 Lịch sử phát triển không gian ngầm	6
1.2 Phát triển không gian ngầm đô thị	7
1.3 Ưu điểm của việc sử dụng không gian ngầm và những thách thức khi phát triển	9
CHƯƠNG II. TÌNH HÌNH SỬ DỤNG KHÔNG GIAN NGẦM Ở CÁC THÀNH PHỐ TRÊN THẾ GIỚI	10
2.1 Tình hình sử dụng công trình ngầm trên thế giới. Đặc điểm của cơ sở hạ tầng ngầm	10
2.1.1 Thành phố Amsterdam (Hà Lan)	10
2.1.2 Thành phố Luân Đôn (Vương quốc Anh)	13
2.1.3 Thành phố Madrid (Tây Ban Nha)	17
2.1.4 Thành phố Montreal và Toronto (Canada)	19
2.1.5 Thành phố Helsinki (Phần Lan)	23
2.1.6 Thành phố Tokyo (Nhật Bản)	26
2.2 Sử dụng không gian ngầm ở Nga qua thực tiễn tại thành phố Matxcova và Xanh Petecbua	29
2.2.1 Thành phố Matxcova	29
2.2.2 Thành phố Xanh Petecbua	31
CHƯƠNG III. NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM ĐỊA LÝ CỦA CÁC THÀNH PHỐ PHÁT TRIỂN KHÔNG GIAN NGẦM	35
3.1 Các thành phố khai thác không gian ngầm	35
3.2. Các thành phố có tàu điện ngầm	45
KẾT LUẬN	60

ĐẶC ĐIỂM ĐỊA LÝ CỦA VIỆC SỬ DỤNG KHÔNG GIAN NGẦM Ở CÁC THÀNH PHỐ

Mở đầu

Các thành phố đang phát triển rất nhanh, nguyên nhân bởi sự gia tăng dân số đô thị dẫn đến nhu cầu mở rộng diện tích thành phố. Dân số càng đông thì nhu cầu về không gian sống thoải mái của mỗi cá nhân càng lớn. Tuy nhiên, nếu các thành phố có điều kiện mở rộng thì diện tích chiếm đất càng ngày càng lớn do sự phát triển ở các khu vực ngoại ô, trong khi mật độ xây dựng trong khu vực nội đô ngày càng dày đặc. Kết quả là, do thiếu không gian, các thành phố phải mở rộng theo cả chiều ngang và chiều dọc, không chỉ bằng cách xây dựng thêm nhiều cao ốc mà còn di chuyển sâu hơn vào lòng đất để phát triển không gian ngầm. Sự phát triển của cơ sở hạ tầng ngầm đô thị trong thế kỷ XXI đã đạt được những thành công rất ấn tượng. Ngày nay, thật khó để tưởng tượng về một đô thị hiện đại mà không sử dụng không gian ngầm. Đối với nhiều người, xây dựng ngầm chủ yếu gắn liền với việc phát triển tàu điện ngầm đô thị, trong khi có nhiều thành phố đã đạt được những thành tựu lớn hơn nhiều trong việc sử dụng không gian ngầm. Vấn đề phát triển không gian ngầm đang nhận được sự quan tâm đặc biệt, khi ngày càng nhiều thành phố đang nỗ lực phát triển cơ sở hạ tầng ngầm.

Việc sử dụng hiệu quả không gian ngầm có vai trò quan trọng đối với sự phát triển bền vững của các thành phố, nhất là đối với các thành phố lớn và hiện đại, có dân số lên tới hàng triệu người với mật độ phát triển cao. Bên cạnh đó, nhiều vấn đề môi trường mới nổi đang là thách thức khó giải quyết đối với các thành phố nếu như không phát triển cơ sở hạ tầng ngầm đô thị. Việc phân tích ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên và địa lý khác nhau của thành phố đối với sự phát triển cơ sở hạ tầng ngầm sẽ giúp chúng ta có cái nhìn sâu hơn về các vấn đề phát triển và sử dụng không gian ngầm đô thị.

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm xác định các ảnh hưởng của điều kiện địa lý đối với việc phát triển không gian ngầm ở các thành phố, tập trung làm rõ một số vấn đề như: Nghiên cứu bản chất của không gian ngầm đô thị và mối liên hệ đối với sự phát triển bền vững; Đánh giá tác động của việc sử dụng không gian ngầm đến phát triển đô thị; Kinh nghiệm quốc tế về phát triển không gian ngầm; Phân tích điều kiện địa lý của các thành phố có sự phát triển mạnh mẽ không gian ngầm đô thị.

CHƯƠNG I

SỬ DỤNG KHÔNG GIAN NGẦM ĐÔ THỊ TRONG BỐI CẢNH PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

1.1 Lịch sử phát triển không gian ngầm

Không gian ngầm đô thị là không gian bên dưới mặt đất, là "một trong những phương tiện để khắc phục khuynh hướng mở rộng thành phố, là chủ thể của các khái niệm mới về tạo lập và bảo tồn môi trường sống tự nhiên, mang lại các lợi ích lớn về sinh thái, kinh tế và phát triển bền vững, tạo môi trường sống thuận lợi cho con người trong các điều kiện tự nhiên khắc nghiệt" (<http://www.zodchii.ws>). Thế giới hiện nay có sự quan tâm ngày càng lớn đối với việc phát triển tích hợp không gian ngầm đô thị, không chỉ do sự phát triển mạnh mẽ của lĩnh vực này mà còn do các tính chất đặc biệt của không gian ngầm, nhờ đó có thể giải phóng môi trường sống của con người khỏi những tác động ô nhiễm, là giải pháp bảo vệ cho các công trình ngầm. Giải pháp bảo vệ này gồm các giải pháp cơ khí, nhiệt học, âm học và thủy lực. Ngày nay, việc sử dụng không gian ngầm không chỉ là một trong những giải pháp khả thi mà còn là giải pháp duy nhất cho sự phát triển bền vững của các thành phố lớn (Demidova, 2015).

Quá trình phát triển không gian ngầm của loài người đã diễn ra trong hơn bốn nghìn năm. Lịch sử xây dựng các công trình ngầm chính là lịch sử nhân loại tìm kiếm các giải pháp nhằm nâng cao tính an toàn, tiện nghi sinh hoạt và tuổi thọ của công trình xây dựng. Vào thời kỳ La Mã cổ đại, các nhà xây dựng đã thiết kế những đường hầm lớn, dài hàng kilomet, để dẫn nước đến các vùng lãnh thổ bị hạn hán của Đế chế La Mã, giúp Đế chế này phát triển thịnh vượng. Các thành phố ngầm ở Cappadocia là ví dụ về công trình xây dựng bằng đá bền vững. Các công trình tôn giáo dưới lòng đất ở Ai Cập cổ đại, nhờ chức năng bảo vệ của chúng, đã bảo tồn và gìn giữ cho các thể hệ sau những di sản có giá trị của nền văn minh cổ đại. Các hầm mộ ở Roma, Naples và Paris, những lối đi bí mật trong các lâu đài thời Trung cổ ... đều là những ví dụ cho thấy nhân loại luôn tìm cách sử dụng không gian ngầm để đạt được các mục tiêu thực tế, vì biết rằng, những công trình như vậy rất an toàn và bền vững (<http://www.undergroundexpert.info>).

Vào thời Trung cổ và thời kỳ Phục Hưng, việc xây dựng ngầm phục vụ mục đích tôn giáo, tín ngưỡng: các hầm mộ của nhiều ngôi đền không chỉ

thể hiện các giải pháp kiến trúc phi thường mà còn là nơi lưu giữ an toàn các giá trị vật chất và phi vật chất. Vào thời đó, không gian ngầm không phải là nơi ở hay tuyến đường giao thông, mà là nơi trú ẩn. Nếu so sánh với thời kỳ Đế chế La Mã với hàng loạt công trình ngầm kỳ vĩ, thì vài thế kỷ tiếp theo, sau khi Đế chế này sụp đổ, là thời kỳ trì trệ trong xây dựng ngầm, chủ yếu là do thiếu các công nghệ xây dựng cần thiết.

Chỉ đến Thế kỷ XIX, nhờ sự ra đời của máy khoan hầm và sự phát triển của kỹ thuật nổ mìn, tình hình mới thay đổi. Nhiều dự án được coi là tuyệt vời ở thời điểm đó đã được triển khai: xây dựng các đường hầm xuyên dãy núi Alps, xây dựng đường hầm dưới nước đầu tiên bên dưới sông Thames bằng máy khoan hầm, bắt đầu từ năm 1825. Đường hầm này sau đó trở thành một phần của tuyến đường tàu điện ngầm đầu tiên trên thế giới, bắt đầu đi vào hoạt động từ năm 1863. Và ngay sau đó là hệ thống tàu điện ngầm ở Budapest, Paris, New York, và ở Istanbul. Cùng với sự phát triển của công nghệ, việc xây dựng ngầm ngày càng phát triển. Ở Nga, đường hầm đường sắt đã trở thành một sự kiện lớn kể từ giữa thế kỷ XIX. Công nghệ khoan hầm đã nhanh chóng trở thành công nghệ phổ biến.

Một hướng đi mới trong xây dựng ngầm đã nảy sinh từ sự kiện khủng khiếp trong lịch sử thế giới - chiến tranh thế giới, thời kỳ đó đã xuất hiện các nhà máy, hầm trú ẩn, đường hầm và các công trình khác dưới lòng đất.

Vào cuối Thế kỷ XX, hoạt động xây dựng ngầm được thúc đẩy tích cực để đáp ứng nhu cầu giao thông. Nhiều đường hầm đã được xây dựng không chỉ để kết nối giao thông mà còn để rút ngắn quãng đường vận chuyển. Ngày nay, các dự án như Đường hầm qua eo biển Manche và đường hầm Hồng Kông cho thấy sự thuận tiện và cải thiện đáng kể liên kết giao thông.

Tuy nhiên, công nghệ xây dựng ngầm phát triển và tình hình môi trường toàn cầu đang xấu đi đã dẫn đến một hướng phát triển mới về xây dựng ngầm - các thành phố hiện đại đang nỗ lực đưa các trung tâm mua sắm, bãi đỗ xe... xuống dưới lòng đất. Những thành phố quan tâm nhiều nhất đến sự phát triển bền vững và ứng dụng các phương pháp quy hoạch tiến bộ khi phê duyệt các quy hoạch tổng thể phát triển thành phố đã tính đến sự phát triển tích hợp không gian ngầm.

1.2 Phát triển không gian ngầm đô thị

Phát triển không gian ngầm đô thị (UDS) được hiểu là quá trình hình thành các không gian dưới lòng đất và sử dụng chúng cho việc xây dựng các tòa nhà và công trình (sau đây gọi chung là nhà và công trình ngầm). Không gian ngầm được coi là tài nguyên phức hợp của lòng đất ở nhiều khía cạnh sử dụng khác nhau, như không gian - lãnh thổ và năng lượng địa nhiệt, khoáng sản và nước ngầm (Parriaux, Blunier, Maire, Tacher, 2007).

Bản chất sinh thái của việc phát triển không gian ngầm đô thị không chỉ đơn thuần là việc mở rộng đô thị xuống dưới lòng đất, mà còn mang lại hiệu quả trong điều kiện thiếu mặt bằng thích hợp cho hoạt động phát triển. Với việc xây dựng nhà và công trình ngầm dưới lòng đất, do phép vận hành dưới ánh sáng nhân tạo, có thể giúp tiết kiệm đáng kể diện tích đất đô thị có giá trị, tạo điều kiện cho việc phục hồi và cải tạo cảnh quan thiên nhiên và lịch sử, giảm số tầng cao các tòa nhà và cải thiện các thông số môi trường khác (khả năng tiếp cận, an toàn, mức tiêu thụ năng lượng). Những lợi thế về mặt môi trường của nhà và công trình ngầm còn bao gồm vi khí hậu ổn định, cách ly với tiếng ồn, rung động, phóng xạ, ô nhiễm không khí, và khả năng chống động đất...

Theo tính toán, việc phát triển tích hợp không gian ngầm, ví dụ như ở thành phố Matxcova, sẽ hoàn vốn sau từ 7-10 năm và tuổi thọ của nhà và công trình ngầm cao hơn đáng kể so với nhà và công trình trên mặt đất (Segedinov, 1987). Về vấn đề này, để tránh nguy cơ khủng hoảng môi trường, cần thực hiện một chiến lược có lộ trình hướng tới mục tiêu gia tăng đáng kể khối lượng xây dựng ngầm ở các thành phố lớn và trọng điểm.

Để xác định nhu cầu phát triển không gian ngầm, thành phố cần được coi là một kiến trúc không gian tổng thể gồm nhiều lớp. Các lớp không gian bên trong được chia thành các không gian nhỏ hơn và được sắp xếp một cách trật tự có tầng bậc. Các lớp tạo thành kiến trúc không gian của một thành phố bao gồm con người (xã hội), các vật thể nhân tạo (nhà và công trình kiến trúc), và lãnh thổ thuộc phạm vi địa giới hành chính của thành phố.

Hình dạng và thông số của các lớp không gian phụ thuộc vào một loạt các nhu cầu xã hội (thể chất, năng lực trí tuệ, vật chất, kinh tế). Nhà và công trình kiến trúc, bao gồm cả công trình ngầm, cùng với cộng đồng dân cư,

các thửa đất và không gian ngầm tương ứng, tạo thành các lớp cấu trúc của một thành phố. Mỗi lớp cấu trúc đều có chức năng đáp ứng một số nhu cầu xã hội nhất định. Các lớp cấu trúc được sắp xếp có hệ thống tạo thành hệ thống tổ chức quy hoạch của thành phố, cấu trúc quy hoạch của thành phố và không gian tổng thể của thành phố. Theo mục đích chức năng, có thể chia thành các lớp cấu trúc bao gồm xã hội, sản xuất, cơ sở hạ tầng (phụ trợ), và hành chính (quản lý).

Lớp lãnh thổ - lớp nền tảng mà các lớp khác chiếu lên trên đó - là phần trên mặt đất của lãnh thổ (mặt đất, mặt nước). Các bộ phận khác của lớp lãnh thổ bao gồm cả phần trên mặt đất và phần ngầm. Như vậy, không gian ngầm được thể hiện như là một trong các lớp của lãnh thổ. Đồng thời, không gian ngầm còn liên kết với lớp nhà và công trình ngầm và lớp xã hội của những người sống dưới lòng đất. Ý tưởng này cho phép việc đưa ra khái niệm về phát triển đô thị ngầm và quan trọng nhất là đưa ra các nhiệm vụ phát triển bền vững cho chính thành phố (Belyaev, Belyaev, 2014).

So sánh với các sinh vật và quần thể sinh vật, thành phố có các yếu tố của một hệ thống tự tổ chức và mọi tương tác bên trong nó diễn ra theo các quy luật của hệ thống tự tổ chức và tự phát triển. Nói cách khác, mọi thành phần tạo nên cấu trúc của thành phố phải được kết nối với nhau theo nguyên tắc thống nhất tự nhiên. Trong trường hợp vi phạm nguyên tắc này, mức độ tiện nghi của thành phố có thể bị giảm sút, đặc biệt là khi cơ sở hạ tầng ngầm của thành phố chậm được phát triển.

1.3 Ưu điểm của việc sử dụng không gian ngầm và những thách thức khi phát triển

Trình độ và mức độ phát triển không gian ngầm có sự không tương đồng ở các thành phố khác nhau do phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Tuy nhiên, để giảm mật độ xây dựng, đặc biệt là ở khu vực trung tâm thành phố, và để bảo tồn các di tích lịch sử và di sản, thành phố cần phải "di chuyển" xuống lòng đất. Nhờ cơ sở hạ tầng ngầm, nhiều vấn đề sẽ được giải quyết như: thiếu không gian mặt đất để phát triển, tổ chức hệ thống giao thông phân nhánh đảm bảo an toàn cho cả người đi bộ và phương tiện giao thông. Sử dụng không gian ngầm cũng giúp giải quyết nhiều vấn đề về môi trường, đặc biệt bằng cách chuyển luồng giao thông xuống dưới lòng đất có thể cải thiện đáng kể chất lượng không khí của thành phố. Những lợi ích của các tòa nhà và công trình ngầm về mặt môi trường bao gồm:

- Có thể bố trí ở nhiều vị trí, ít ảnh hưởng đến môi trường;
- Không làm gián đoạn mạng lưới cấu trúc hiện hữu của các công trình trên mặt đất đã được xây dựng;
- Tiết kiệm năng lượng;
- Tránh được tiếng ồn và rung chấn;
- Bảo vệ khỏi sự tác động của các yếu tố tự nhiên.
- Tránh được bức xạ và sóng địa chấn

Khi phát triển không gian ngầm có thể gặp những thách thức do điều kiện khí hậu, địa chất công trình hoặc thủy văn như mực nước ngầm cao, nền đá sâu v.v. Ngoài những khó khăn về tự nhiên, một vấn đề khác đó là chi phí xây dựng ngầm thường cao hơn nhiều so với xây dựng trên mặt đất. Do đó, sự phát triển không gian ngầm thường bị kìm hãm do thiếu vốn đầu tư chứ không phải do những khó khăn về mặt kỹ thuật. Ngày nay, trình độ phát triển của công nghệ, thiết bị và vật liệu xây dựng hoàn toàn có thể giải quyết được các vấn đề kỹ thuật phức tạp trong thi công công trình ngầm.

CHƯƠNG II

TÌNH HÌNH SỬ DỤNG KHÔNG GIAN NGẦM Ở CÁC THÀNH PHỐ TRÊN THẾ GIỚI

2.1 Tình hình sử dụng công trình ngầm trên thế giới. Đặc điểm của cơ sở hạ tầng ngầm

2.1.1 Thành phố Amsterdam (Hà Lan)

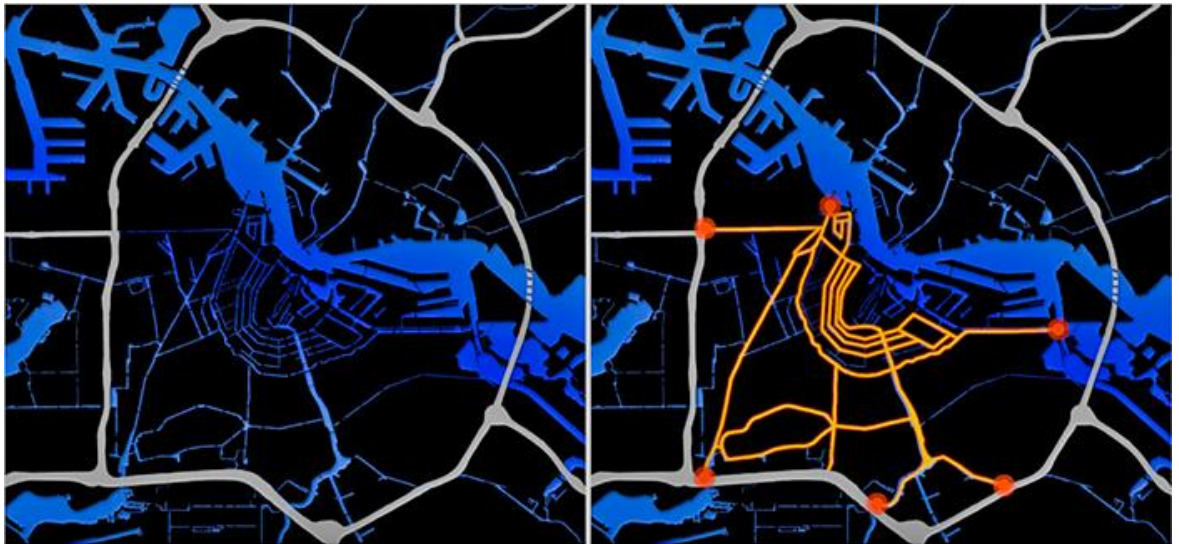
Thành phố Amsterdam nằm ở cửa sông Amstel đổ ra vịnh IJ. Sông Amstel chảy qua trung tâm thành phố và tạo thành một mạng lưới các dòng kênh, một trong số các dòng kênh đó nối thành phố với biển Bắc. Thành phố Amsterdam thấp hơn mực nước biển khoảng 2 mét, nằm trong vùng khí hậu ôn đới và chịu ảnh hưởng lớn từ vùng biển gần đó, đặc biệt là thành phố này phải hứng chịu gió tây bắc mạnh và có gió giạt.

Sự phát triển tự phát và thiếu cân nhắc kỹ lưỡng ở các thành phố hiện đại dẫn đến tình trạng thiếu không gian, thiếu chỗ đậu xe, môi trường đô thị không thuận lợi và làm mất đi diện mạo lịch sử của các thành phố cổ. Thành

phố Amsterdam đã rơi vào tình trạng "quá tải": không gian chật chội, các đường phố chật hẹp thường xuyên tắc nghẽn.

Tất cả những vấn đề trên đã được thành phố Amsterdam nghĩ đến từ hơn chục năm trước. Trong kế hoạch hành động "Thành phố lành mạnh 2008-2014", chính quyền thành phố đã công bố danh mục các nhiệm vụ cấp bách nhất về phát triển kinh tế và cải thiện môi trường của thành phố.

Hưởng ứng sự phát động của chính quyền thành phố, dự án phát triển không gian ngầm đa chức năng tại Amsterdam (dự án AMFORA) đã được triển khai nhằm mục đích giải quyết các vấn đề về không gian, cơ sở hạ tầng và môi trường cho thành phố. Dự án được phát triển bởi công ty kỹ thuật Hà Lan Strukton và công ty kiến trúc Zwarts & Jansma có trụ sở tại Amsterdam.



Hình 1. Amsterdam: Đường vành đai M10 và Hệ thống đường hầm AMFORA

Nguồn: zja.nl

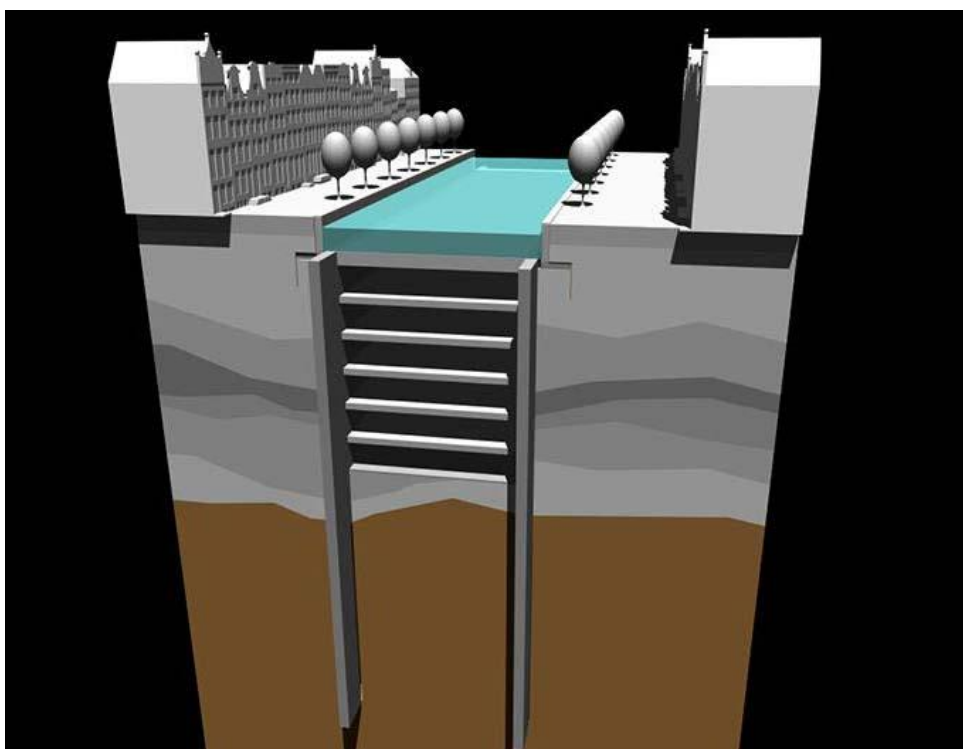
Dự án AMFORA giải quyết các vấn đề về hạn chế không gian phát triển và tình trạng ùn tắc giao thông ở thủ đô Amsterdam: xây dựng khoảng 50km đường hầm bên dưới lòng sông và các kênh rạch ở trung tâm thành phố. Bên trong các đường hầm này được bố trí các bãi đậu xe, các cơ sở thể thao, giải trí.

Ở tầng dưới cùng của các đường hầm được sử dụng làm bãi đậu xe, các hạng mục hạ tầng kỹ thuật, đặc biệt, các trạm xử lý nước thải và hệ thống cấp ngầm sẽ được đưa xuống dưới ngầm.

Khi rời khỏi đường vành đai 10 của thành phố Amsterdam, các phương tiện ô tô sẽ đi thẳng xuống đường hầm bên dưới các đường phố. Người dân thành phố và khách du lịch có thể di chuyển đến trung tâm thành phố bằng tàu điện ngầm. Các rạp chiếu phim, siêu thị, bể bơi và nhiều công trình tiện ích khác có thể giúp thành phố ngầm trở nên sôi động, và nếu được thiết kế tốt sẽ tạo ra bầu không khí thoải mái, dễ chịu cho mọi người đến tận hưởng.

Các hệ thống sưởi và làm mát cũng được thiết kế cho nhà và công trình trên đất hoặc dưới ngầm: máy bơm nhiệt cung cấp năng lượng sưởi và làm mát cho nhà và công trình, và có thể điều chỉnh nhiệt độ trong những ngôi nhà trên đất nhờ nguồn năng lượng dồi dào.

Tác động môi trường của dự án cũng được xem xét kỹ lưỡng. Dự án AMFORA gần như không gây ra tác động có hại đối với môi trường. Hơn nữa, bầu không khí của thành phố Amsterdam cũng dần được cải thiện: khí thải được xử lý lọc bằng công nghệ tiên tiến, giúp ngăn chặn các hạt lơ lửng và các chất có hại khác xâm nhập vào khí quyển.



Hình 2. Khu phức hợp ngầm 6 tầng dưới sông Amstel ở trung tâm Amsterdam

Các tác giả của Dự án cũng không bỏ qua những vấn đề như chiếu sáng dưới ngầm và hướng tuyến ngầm. Nguyên tắc cơ bản như sau: đường ngầm sẽ nằm bên dưới các kênh nước chảy trên mặt đất mà người dân thành

phổ đều biết rõ. Các cây cầu hiện hữu cùng với hệ thống chiếu sáng đổi màu và hình ảnh phản chiếu trên mặt đất, tạo thành các điểm tham chiếu trong không gian ngầm.

Ngoài ra, xung quanh bãi đậu xe ngầm cũng được bố trí nhiều công trình, để các điểm tụ tập đông người được sắp đặt gần với nhau, điều này cũng rất quan trọng về mặt đảm bảo an ninh, an toàn.

Có thể thấy rằng, đặc điểm chính về việc sử dụng không gian ngầm ở Amsterdam là hướng tuyến của các công trình và lối đi ngầm so với sông Amstel và các kênh trong thành phố, điều này không chỉ đảm bảo sự dễ dàng định hướng cho du khách đến khu phức hợp ngầm AMFORA mà còn tạo thuận lợi hơn cho quá trình xây dựng. Ngoài ra, điều này còn giúp giảm thiểu sự gián đoạn hoạt động sinh hoạt của cư dân thành phố trong quá trình xây dựng và không gây hại cho môi trường, sử dụng các công nghệ tiên tiến trong xây dựng ngầm là đặc biệt cần thiết trong điều kiện kỹ thuật và địa chất phức tạp của thành phố Amsterdam.



Hình 3. Dự án AMFORA dưới sông Amstel

2.1.2 Thành phố Luân Đôn (Vương quốc Anh)

Luân Đôn là một trong những thành phố lớn nhất thế giới và thuộc danh sách những thành phố lớn đi đầu trong phát triển cơ sở hạ tầng ngầm. Thành phố Luân Đôn có địa hình bằng phẳng, điểm cao nhất so với mực

nước biển là Westerham Heights, cao 245 m. Thành phố nằm bên bờ sông Thames, chảy từ phía Tây Nam sang phía Đông và đổ ra biển Bắc. Bản thân sông Thames có nhiều nhánh sông lớn chảy trên địa bàn thành phố và có một số nhánh nhỏ hơn chảy ngầm dưới lòng đất. Thành phố có khí hậu biển ôn hòa, mùa đông không quá lạnh và mùa hè ấm áp, lượng mưa phân bố đều trong năm và lượng mưa trung bình hàng năm thấp hơn so với thành phố Matxcova (Nga).

Sự phát triển không gian ngầm ở thành phố Luân Đôn bắt đầu từ thế kỷ XIX là thời kỳ đô thị hóa mạnh mẽ - chỉ trong 01 thế kỷ, dân số Luân Đôn tăng gấp 06 lần và bản thân thành phố này được coi là lớn nhất thế giới.

Mạng lưới đường sắt của thành phố Luân Đôn cùng 06 nhà ga khi đó đã giúp phát triển vùng ngoại ô Luân Đôn, nhưng lại khiến cho việc đi lại trong thành phố trở nên khó khăn hơn do lưu lượng giao thông tăng cao. Vào thời điểm đó, thành phố đã có một quyết định thực sự mang tính cách mạng đó là xây dựng một tuyến đường sắt ngầm, sau này trở thành tuyến đường tàu điện ngầm đầu tiên trên thế giới. Tuyến tàu điện ngầm đầu tiên ở Luân Đôn dài 06 km và có 07 nhà ga. Ngày nay, hệ thống tàu điện ngầm Luân Đôn là một trong 05 hệ thống lớn nhất thế giới xét về tổng chiều dài đường ray, bao gồm 270 nhà ga.



Hình 4. Sơ đồ hệ thống đường ống kỹ thuật ngầm của thành phố Luân Đôn

Tất nhiên, không gian ngầm của Luân Đôn không chỉ dành riêng cho tàu điện ngầm. Các đầu mối hạ tầng quan trọng nhất của thành phố, các trung tâm đô thị được hình thành dựa trên sự mở rộng của mạng lưới tàu điện ngầm. Tập hợp các công trình tiện ích đa chức năng được bố trí xung quanh lõi lên xuống hoặc nhà ga tàu điện ngầm cả trên mặt đất và dưới không gian ngầm như lối đi dành cho người đi bộ từ sảnh nhà ga tàu điện ngầm kết hợp bố trí các cửa hàng bán lẻ, quán cafe, v.v. (Golitsynsky, 2006).

Các đường ống ngầm, hầm ngầm, nền móng và nhiều đường hầm có công năng khác nhau tạo nên một mê cung nhiều tầng không lồ bên dưới lòng đất của thành phố Luân Đôn. Thật khó để hình dung, nhưng tầng thấp nhất của hệ thống hạ tầng kỹ thuật ngầm nằm ở độ sâu tương đương với chiều cao của mái vòm nhà thờ St. Paul và tháp đồng hồ Big Ben.

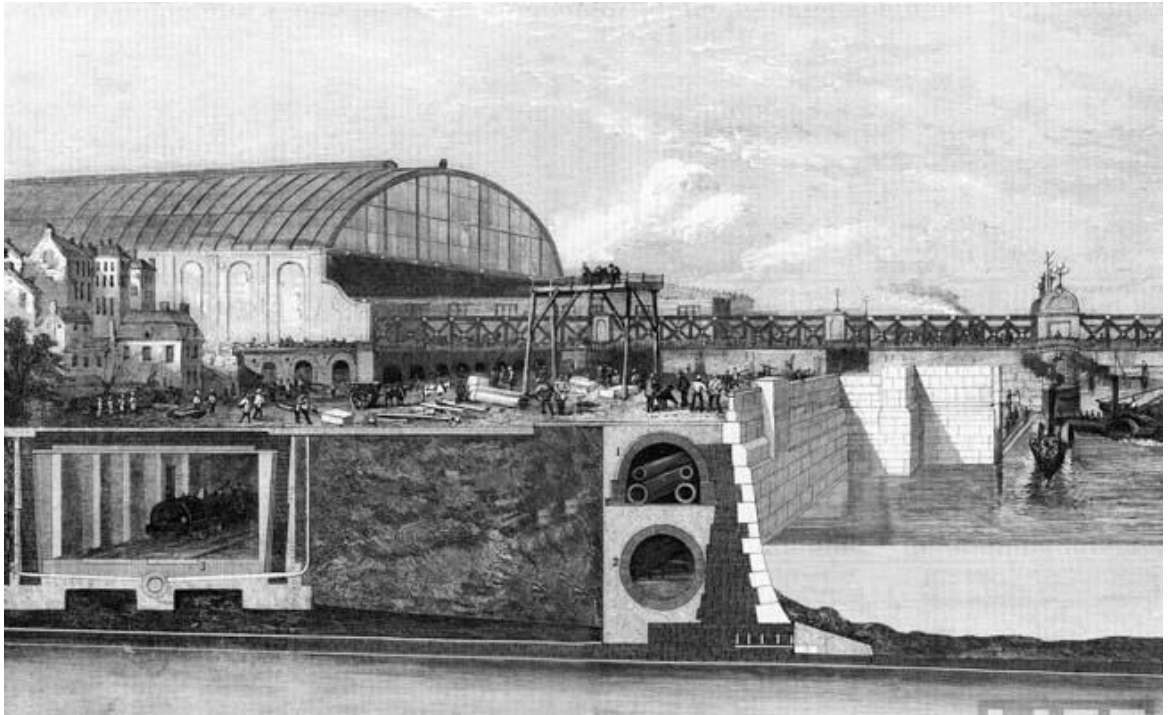
Ở hình trên cho thấy sơ đồ trực quan của hệ thống hạ tầng kỹ thuật ngầm của thành phố Luân Đôn, các đường cống ngầm nằm ở cả tầng nông nhất và sâu nhất: các kênh thoát nước mưa của thành phố nằm ở độ sâu từ 4-5m và đường hầm Lee Tunnel được đào từ Eastham đến Stratford để thoát nước sinh hoạt và nước mưa, nằm ở độ sâu 80 mét. Vị trí trung tâm trong hình trên là "siêu cống" Thames Tideway nằm ở độ sâu từ 30 - 66m tùy thuộc vào sự hiện diện của các hệ thống hạ tầng kỹ thuật khác và đặc điểm nền đất.

Độ sâu của các tuyến đường tàu điện ngầm có sự thay đổi rất lớn, mặc dù các tuyến tàu điện ngầm nằm ở độ sâu trung bình từ 20-24 mét. Trong khi các tuyến Circle, District, Metropolitan và Hammersmith & City nằm ở độ sâu từ 5 - 6 mét, thì ga Hampstead trên tuyến phía Bắc nằm ở độ sâu 58,5 mét và đoạn đường hầm Hampstead Heath nằm ở độ sâu tới 67 mét. Tuyến đường sắt cao tốc Crossrail mới (tuyến Elizabeth) nằm ở độ sâu trung bình khoảng 25 mét so với mặt đất.

Các đường hầm bên dưới các tòa nhà chính phủ tại Whitehall sâu 6 mét, trong khi đường hầm dành cho người đi bộ dưới sông Thames tại Greenwich và Woolwich được đào sâu lần lượt là 15 và 19,5 mét.

Các boongke và hầm trú bom từ Thế chiến II nằm sâu 30-36 mét dưới lòng đất, một số hiện đã được chuyển đổi thành các nông trang ngầm. Nước

sạch được bơm từ giếng ở độ sâu 40-65 mét, và cáp điện được đặt ở độ sâu 35-60 mét dưới lòng đất.



Hình 5. Một bản vẽ hiếm có cho thấy hệ thống ống và cống ngầm đóng vai trò quan trọng trong cơ sở hạ tầng ngầm của London vào thế kỷ 19.



Hình 6. Phần phía Nam của sông Tyburn.

Nền móng nhà sâu nhất ở thành phố Luân Đôn thuộc về tòa nhà chọc trời Shard (chiều cao 309m) ở độ sâu 15 mét, các cọc khoan nhồi của nền móng sâu 55 mét (<http://mk-london.co.uk>).

Luân Đôn là thành phố đầu tiên trên thế giới có tàu điện ngầm, đồng thời cũng là thành phố đầu tiên có hệ thống thoát nước thải ngầm (theo phong cách thiết kế hiện đại). Trước khi có hệ thống thoát nước thải ngầm, hệ thống thoát nước thải của thành phố Luân Đôn được thiết kế rất kém với mọi nguồn nước thải đều đổ xuống sông Thames gây ra sự kiện khủng hoảng môi trường "dòng sông thối" ở Luân Đôn vào năm 1858. Sau đó, một hệ thống xử lý nước thải được xây dựng trong thành phố vào thời điểm đó được coi là một phép màu công nghiệp. Hệ thống thoát nước thải của thành phố bao gồm hệ thống cống chặn, mục đích là ngăn nước thải chảy ra sông, và các đường hầm thoát nước đặt bên dưới lòng sông và chạy dọc hai bên bờ sông dài 82 dặm. Một phần của hệ thống này là nhiều con sông nhỏ chảy vào sông Thames.



Hình 7. Một cống thoát nước, trước đây là sông Westbourne, bên dưới Knightsbridge ở London.

Không gian ngầm của thành phố Luân Đôn được sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau và có những đặc điểm thủy văn riêng biệt, bao gồm thực tế là trong quá trình xây dựng hệ thống thoát nước thải của thành phố vào thế kỷ XIX, các nhánh nhỏ của sông Thames đã được tận dụng hiệu quả,

sau đó được ẩn trong các đường hầm ngầm và trở thành một phần của hệ thống thoát nước thải của thành phố.

2.1.3 Thành phố Madrid (Tây Ban Nha)

Thành phố thủ đô Madrid của Tây Ban Nha nằm ở trung tâm của Bán đảo Iberia, trên cao nguyên Meseta. Độ cao trung bình khoảng 667 m so với mực nước biển. Nằm bên con sông nhỏ Manzanares, thành phố Madrid có khí hậu lục địa với lượng mưa ít, đặc biệt là vào mùa hè khá ẩm áp với nhiệt độ trung bình là 21-25°C, nhiệt độ trung bình vào mùa lạnh dao động trong khoảng 6-10°C.

Ngày nay, tại trung tâm thành phố Madrid, bên bờ sông Manzanares có một công viên, với nhiều cơ sở thể thao và văn hóa khác nhau, thu hút khách du lịch và người dân thành phố đến vui chơi, thư giãn để giảm áp lực của cuộc sống bận rộn tại một trong những trung tâm chính trị và kinh tế lớn nhất châu Âu. Địa điểm nghỉ ngơi này là kết quả của Dự án "Madrid Rio" - đã giải thoát khu vực trung tâm thành phố khỏi những cơ sở hạ tầng giao thông lạc hậu được phát triển từ những thập niên 1950 -1970 của thế kỷ trước, gây ảnh hưởng tiêu cực đến diện mạo và môi trường sinh thái của thành phố.

Dự án Madrid Rio trở thành dấu mốc quan trọng trong sự nghiệp của Thị trưởng Madrid Alberto Ruiz Gallardón. Năm 2003, ông Gallardón thắng cử chức thị trưởng thành phố với lời hứa với người dân là sẽ tạo ra một môi trường đô thị mới có thể giúp phát triển nền kinh tế đất nước. Vào thời điểm đó, không gian của Madrid cần được tái cấu trúc toàn diện. Tuyến đường giao thông trục chính của thành phố làm xấu cảnh quan và gây ô nhiễm không khí đã được quyết định đưa xuống dưới ngầm. Khoảng 100 nhà ga tàu điện ngầm mới, 43 km đường ô tô ngầm 4 làn xe, một công viên và 5 tòa nhà cao tầng bên trên mặt đất làm thay đổi diện mạo quen thuộc của Madrid đã bắt đầu được xây dựng ngay sau cuộc bầu cử. Dự án này được phần lớn người dân thành phố ủng hộ, mặc dù thị trưởng thành phố đã quyết định tăng mức thuế để lấy vốn cho dự án này.

Dự án này nhằm mục đích mang đến cho mọi người không gian đi bộ dọc theo bờ sông Manzanares, tạo ra một công viên lớn và bảo tồn, khôi phục diện mạo lịch sử của khu vực trung tâm, đồng thời không được ảnh hưởng tiêu cực đến các thành phần kinh tế của thành phố. Giải pháp cho vấn

đề này là di chuyển tuyến đường giao thông trục chính xuống dưới lòng đất. Theo Thị trưởng Gallardón, giá trị thẩm mỹ và kinh tế cần được phát triển liên tục. Tuyến đường ngầm xuyên qua thành phố đã được hoàn thành và đi vào hoạt động, các hàng thông được trồng dọc hai bên bờ sông, và hai bờ sông được nối với nhau bằng những chiếc cầu dành cho người đi bộ.



Hình 8. Quy hoạch của công viên RIO MADRID

Nguồn: Dự án tái thiết đô thị MADRID RIO - Tây Ban Nha (Madrid)

Chính quyền thành phố Madrid nỗ lực bảo tồn khu vực trung tâm trên mặt đất của thành phố chủ yếu "dành cho cư dân", đồng thời cải thiện tình trạng sinh thái của môi trường, đưa giao thông xuống lòng đất và phát triển đáng kể cơ sở hạ tầng ngầm. Xét về vị trí địa lý của Madrid, xa một vùng nước lớn hoặc bờ biển, có thể thấy rằng, điểm đặc biệt của thành phố này là khu vực giải trí nghỉ dưỡng được tạo ra bằng cách phát triển không gian ngầm ngay tại trung tâm, tạo nên sự khác biệt đáng kể cho Madrid so với các thành phố lớn khác trên thế giới, nơi mà phần trung tâm thường là các khu dân cư "xám" được xây dựng dày đặc.

2.1.4 Thành phố Montreal và Toronto (Canada)

Montreal được nhiều người biết đến bởi thành phố này có một thành phố ngầm diện tích lên tới gần 18 triệu m². Trong thành phố ngầm này có cơ sở hạ tầng giao thông, các công trình thương mại và không gian công cộng.

Montreal là một trong những thành phố cổ kính nhất của Canada, có nhiều tòa nhà uy nghi và di sản kiến trúc nhưng không cản trở việc phát triển cơ sở hạ tầng ngầm của thành phố.

Vị trí địa lý và điều kiện khí hậu của Montreal có vai trò quan trọng trong việc xây dựng hệ thống giao thông và công trình xã hội bên dưới lòng đất, vì thành phố này tọa lạc trên một hòn đảo cùng tên, tại nơi hợp lưu của sông St. Lawrence và nhánh chính của nó - sông Ottawa.

Trung tâm thành phố Montreal nằm ở doi đất giữa hai nhánh sông, nơi có tuyến đường tàu điện ngầm đầu tiên bắt đầu được xây dựng vào thập niên 1960 của Thế kỷ XX để phục vụ "Triển lãm Expo 1967".

Ban đầu, hệ thống tàu điện ngầm của thành phố Montreal gồm 03 tuyến song song với nhau và cách nhau 750m. Tuy nhiên, sau đó, do cần phục vụ cho sự kiện Thế vận hội Olympic 1976 tổ chức tại Montreal, người ta đã phát triển hệ thống giao thông ngầm lên hướng Bắc để kết nối giao thông với Làng Olympic.

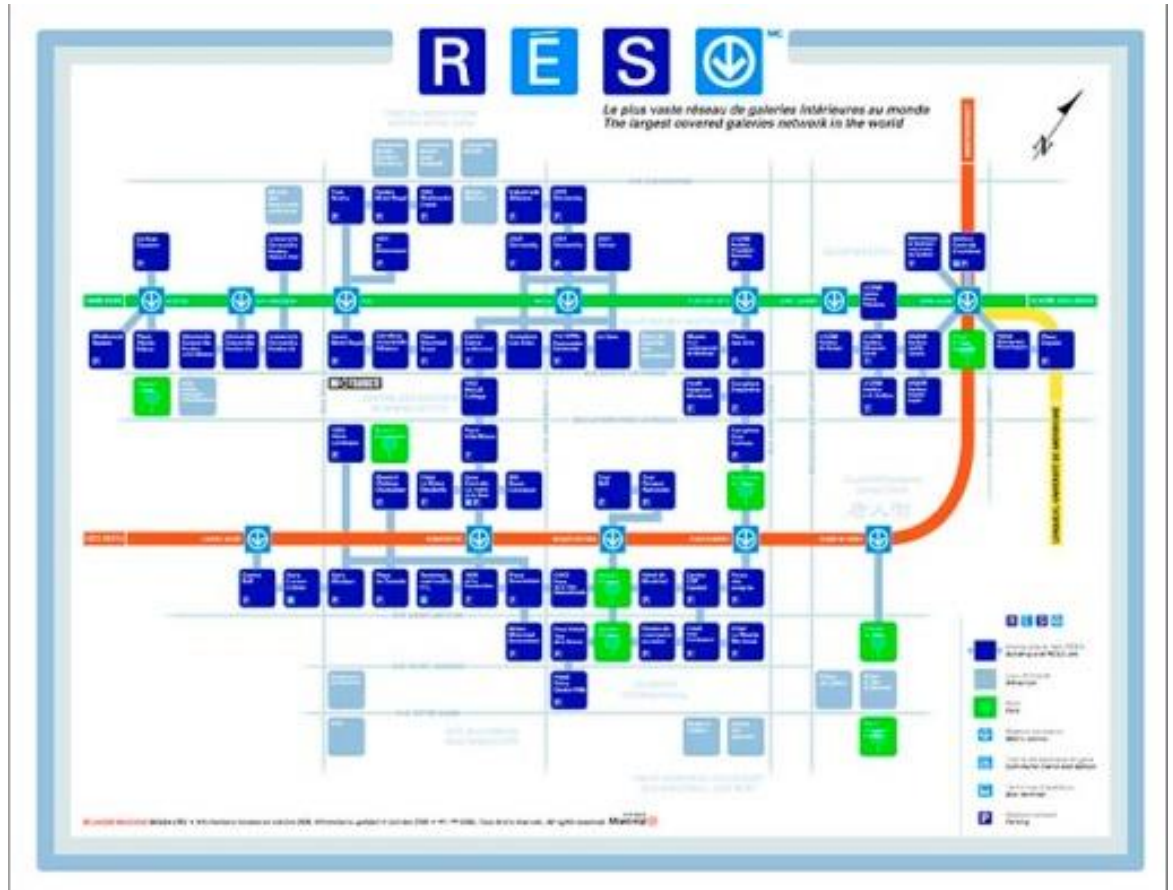
Kho báu thực sự của thành phố lại không phải là hệ thống tàu điện ngầm mà là không gian dành cho người đi bộ rộng lớn (thành phố ngầm RESO) với tổng chiều dài đến 32km được kết nối với hệ thống tàu điện ngầm. Khoảng cách 750 giữa các tuyến tàu điện ngầm cho phép việc di chuyển nhanh chóng đến các đường phố thông qua các hầm đi bộ ngầm và tầng hầm của các tòa nhà.

Thành phố ngầm RESO kết nối với 10 trên tổng số 68 nhà ga tàu điện ngầm của thành phố và các trung tâm mua sắm lớn như Complexe Les Ailes, Centre Eaton, Bay Fashion Liquidation Centre, Les Cours Mont-Royal, Promenades de la Cathedrale và các tòa nhà khác cao tới 10 tầng và luôn có hai tầng hầm.

Ngoài ánh sáng nhân tạo, các tầng ngầm còn được cung cấp ánh sáng mặt trời nhờ các giếng trời nằm trong chính các tòa nhà.

Tại các lối đi dành cho người đi bộ dưới lòng đất có khoảng 1.600 cửa hàng, 200 nhà hàng, 34 rạp phim và một số nhà hát (Ga tàu điện ngầm Quảng trường Nghệ thuật, nơi có tổ hợp công trình hòa nhạc và triển lãm cùng tên).

Mỗi ngày có tới nửa triệu người ghé thăm "Thành phố ngầm Montreal", nơi vừa là khu giải trí rộng lớn dành cho cư dân thành phố và khách du lịch, vừa là nơi giúp mọi người tránh được thời tiết khắc nghiệt của Canada.



Hình 9. Bản đồ hệ thống tàu điện ngầm Montreal và thành phố ngầm RESO
Nguồn: <http://www.undergroundexpert.info>

Một ví dụ khác về khu phức hợp ngầm The PATH ở thành phố Toronto.

The PATH - "con đường" - là mạng lưới đường hầm dài 29km dành cho người đi bộ nằm bên dưới các tòa nhà văn phòng ở trung tâm thành phố Toronto. Theo Sách Kỷ lục Guinness, PATH là khu phức hợp mua sắm ngầm lớn nhất thế giới, với diện tích sàn thương mại cho thuê là 371,6 nghìn m².

Đường hầm ngầm The PATH thường được ví như thành phố ngầm RESO ở Montreal. Hiện nay, chiều dài của The PATH là 27km, còn RESO dài 32km. RESO có một số khu vực chưa kết nối được, trong khi The PATH

ở Toronto đã được kết nối thông suốt hoàn toàn. Vì vậy, mặc dù hệ thống phức hợp ngầm ở Montreal có diện tích tổng thể lớn nhất, nhưng The PATH lại là hệ thống có chiều dài liên tục dài nhất.

Lịch sử của hệ thống PATH bắt đầu từ năm 1900, khi chủ sở hữu của hàng bách hóa Eaton xây dựng một đoạn hầm ngầm bên dưới đường phố James để khách hàng có thể di chuyển qua lại giữa Cửa hàng chính trên phố Yong và cửa hàng Annex nằm sau Tòa thị chính của thành phố. Đây là lối đi ngầm đầu tiên dành cho người đi bộ ở thành phố Toronto và được coi là tiền thân của mạng lưới PATH. Đường hầm này hiện được kết nối với các tòa nhà khác và được sử dụng như là một phần của hệ thống tàu điện ngầm Toronto. Một tiền thân nữa của PATH và cũng là một phần của hệ thống tàu điện ngầm Toronto, được xây dựng năm 1927 để hầm kết nối Ga Union với Khách sạn Royal York.

Mạng lưới lối đi ngầm đã được phát triển mở rộng nhờ Kiến trúc sư Matthew Lawson vào những năm 1960, khi đó, vỉa hè của khu vực thương mại Toronto đã trở nên quá chật chội và các tòa nhà văn phòng mới đang đẩy các doanh nghiệp nhỏ ra khỏi đường phố. Matthew Lawson đã thuyết phục một số nhà phát triển lớn triển khai xây dựng các trung tâm mua sắm ngầm, và cam kết rằng các trung tâm này sẽ được kết nối. Các kiến trúc sư của Trung tâm Dominion Toronto là những người đầu tiên tích hợp các trung tâm mua sắm ngầm vào khu phức hợp, với khả năng mở rộng trong tương lai.

Theo quy hoạch dài hạn của thành phố Toronto, mạng lưới PATH sẽ được mở thêm hơn 45 lối vào mới và xây dựng thêm 60km đường hầm.

Montreal là thành phố lớn thứ 2 ở Canada. Địa hình thành phố có độ cao dao động từ 8 -234m so với mặt biển. Montreal nằm trên ranh giới của một số vùng khí hậu, nhưng nhìn chung khí hậu của thành phố này có thể được gọi là khí hậu lục địa ẩm. Mùa hè ở thành phố ẩm áp nhưng cũng ngột ngạt; nhiệt độ không khí lúc này thường vượt quá 30°C. Mùa đông lạnh, nhiều gió và tuyết với nhiệt độ trung bình từ -6°C đến -9°C. Vào mùa xuân và mùa thu, thời tiết khá ôn hòa nhưng có đặc điểm là nhiệt độ thay đổi đột ngột. Lượng mưa hàng năm khoảng 1.000 mm, do tuyết rơi từ tháng 11 đến tháng 3, cũng như thường xuyên có giông bão và mưa rào trong mùa ẩm.



Hình 10. Bản đồ thành phố ngầm The PATH ở Toronto
Nguồn: <http://torontopath.com>

Khí hậu của Toronto rất giống với khí hậu của Montreal. Toronto cũng có khí hậu lục địa ẩm, chịu ảnh hưởng bởi vị trí địa lý của thành phố do gần Hồ Ontario và Vịnh Hudson. Mùa hè ở Toronto ẩm ướt và ấm áp với nhiệt độ trung bình từ 19-22°C, trong khi mùa đông khá lạnh với nhiệt độ trung bình xuống tới -4°C. Toronto có lượng mưa hơn 800 mm mỗi năm.

Sự phát triển của các thành phố ngầm ở Montreal và Toronto cho thấy, không gian ngầm không chỉ có thể được sử dụng như một nguồn tài nguyên ngầm bổ sung cho mục đích giao thông hoặc hệ thống hạ tầng kỹ thuật, mà còn là cơ hội để tạo ra một thành phố nhiều tầng, cho phép mọi người dành thời gian tiêu khiển và di chuyển khắp thành phố, cả trên bề mặt cũng như dưới lòng đất. Và với điều kiện thời tiết bất lợi thường xuyên xảy

ra ở các thành phố, nhất là trong mùa đông, cơ sở hạ tầng ngầm như vậy sẽ giúp giảm thiểu tác động bất lợi của thời tiết đến cuộc sống của người dân thành phố.

2.1.5 Thành phố Helsinki (Phần Lan)

Helsinki là thành phố nổi bật về phát triển không gian ngầm, và là thành phố duy nhất trên thế giới có quy hoạch phát triển không gian ngầm quy mô lớn - "Quy hoạch tổng thể phát triển không gian ngầm thành phố Helsinki". Với quy hoạch này, chính quyền thành phố mong muốn bảo tồn diện mạo lịch sử của thành phố, giảm thiểu tác động của quá trình đô thị hóa và bảo vệ môi trường sinh thái. Quá trình phát triển không gian ngầm của thành phố Helsinki bắt đầu từ thập niên 1960. Nhu cầu về xây dựng công trình ngầm ở khu vực trung tâm thành phố cũng gia tăng đáng kể từ thời điểm đó: theo thời gian, mật độ xây dựng của thành phố ngày càng cao, dẫn đến việc cần phải phát triển mở rộng xuống không gian ngầm, từ đó nảy sinh nhu cầu kết nối các công trình ngầm với nhau và hình thành các khu phức hợp ngầm được kết nối.

Một nguyên nhân khác khiến Phần Lan quan tâm đến việc phát triển không gian ngầm là nhu cầu bảo tồn cảnh quan lịch sử của Helsinki, tổ chức lại các công viên trong thành phố và nâng cao tính an toàn của các công trình ngầm. Hiện nay, thành phố Helsinki đang khai thác hơn 10 triệu m³ không gian ngầm, với khoảng 400 công trình ngầm đang hoạt động, 200 công trình khác trong các đường ống ngầm, 24km kênh dẫn nước ngầm và khoảng 60km tuynel kỹ thuật đã được lắp đặt, chứa đựng hệ thống cấp nhiệt, cấp điện, cáp viễn thông.

Chất lượng đá ở Phần Lan rất lý tưởng cho xây dựng ngầm vì phần lớn là nền đá nông thời kỳ tiền Cambri. Thêm vào đó, thành phố Helsinki nằm trên khu vực nền đá, cốt nền có sự chênh lệch đáng kể cùng với đá là đóng góp cho cảnh quan của thành phố. Tại 55 khu vực đá bên ngoài trung tâm thành phố có thể khai thác xây dựng các công trình ngầm quy mô lớn gần các tuyến đường giao thông chính.

Ngoài nền đá làm nền móng cho thành phố, khí hậu địa phương cũng tạo thuận lợi cho việc thúc đẩy xây dựng. Thành phố Helsinki nằm ở phía Nam, trên bờ vịnh Phần Lan của biển Baltic. Vị trí phía Bắc của thành phố nằm ở vĩ độ 60 được phản ánh qua thời tiết: khí hậu ôn hòa, chuyển tiếp từ

khí hậu lục địa sang khí hậu biển. Do nằm gần biển Bắc Băng dương và Bắc Đại Tây dương làm cho khí hậu lạnh, nhưng dòng hải lưu Gulf Stream mang không khí ấm đến khu vực này, nhờ đó, nhiệt độ trung bình ở Helsinki vào khoảng $6,5^{\circ}\text{C}$ (Demidova, 2015).



Hình 11. Bản đồ hệ thống hạ tầng kỹ thuật ngầm ở Helsinki

Quy hoạch tổng thể phát triển không gian ngầm của thành phố Helsinki chỉ ra những khu vực rộng lớn được dành cho mục đích công cộng, tại đó, việc xây dựng không dành cho các công ty tư nhân.

Quy hoạch này cũng cung cấp thông tin về các khu vực đã chưa được dành cho mục đích cụ thể nào nhưng sẽ được sử dụng cho các mục đích khác nhau sau này theo quy hoạch phát triển thành phố. Quy hoạch cũng cung cấp thông tin về các khu vực thích hợp cho xây dựng. Vì quy hoạch tổng thể có giá trị pháp lý chính thức nên các chủ đất và các nhà phát triển cần nghiên cứu kỹ trước khi triển khai các dự án của mình.

Các không gian ngầm dành cho các dự án và công trình hiện hữu được phân chia thành 05 loại chính:

- Hệ thống hạ tầng kỹ thuật công cộng
- Giao thông và bãi đậu xe
- Kho, bãi hàng hóa

- Công trình dịch vụ, quản lý
- Các công trình trong nền đá mà chưa có mục tiêu xác định

Lợi thế của việc xây dựng ngầm đối với thành phố Helsinki là: tiết kiệm năng lượng (ví dụ như trường hợp xây dựng các trung tâm dữ liệu dưới lòng đất), cải thiện điều kiện môi trường (công trình xử lý nước thải, công trình cấp nhiệt, cấp nước). Theo cách này, Helsinki đã xác định lộ trình phát triển thành phố trong nhiều năm tới và thực hiện theo cách thân thiện nhất với môi trường và hiệu quả chi phí nhất.

Theo quy hoạch tổng thể phát triển không gian ngầm, trong tương lai gần sẽ có một thành phố Helsinki ngầm với các đường cao tốc và trung tâm mua sắm hiện đại, trong khi trung tâm nội đô lịch sử sẽ được bảo tồn để phục vụ khách du lịch. Thành phố Helsinki là ví dụ điển hình đối với các chính quyền thành phố ở Nga, nơi mà người ta thường chọn chiến lược phá dỡ các tòa nhà lịch sử hoặc cho phép xây dựng nhà cao tầng bên cạnh các di sản kiến trúc, và sự pha trộn như vậy không hề cải thiện diện mạo kiến trúc.

Đồng thời, chính quyền thành phố Helsinki không chỉ đơn thuần là "giải phóng" diện tích trên bề mặt của thành phố khỏi việc xây dựng không cần thiết bằng cách đưa các bãi đậu xe và cơ sở hạ tầng giao thông xuống dưới ngầm, mà còn triển khai xây dựng nhiều công trình dân dụng đầy tham vọng và thú vị dưới lòng đất.

Ví dụ, nhà máy nước Helsinki nằm trong núi đá là một tổ hợp công trình có mức độ tự động hóa cao với chỉ khoảng 40 nhân sự vận hành. Nước sinh hoạt được cung cấp cho thành phố được lấy từ hồ Päijänne thông qua đường hầm trên núi dài 120 km. Do chất lượng nước của hồ Päijänne tốt và nhiệt độ luôn thấp trong quá trình vận chuyển nên nước này chỉ cần xử lý tối thiểu trước khi sử dụng do chỉ chứa một lượng nhỏ chất ô nhiễm.

Quy hoạch tổng thể phát triển không gian ngầm của thành phố Helsinki được xem là một trong những quy hoạch tham vọng nhất. Thành phố đang tích cực tận dụng lợi thế của địa hình nền đá để phát triển cơ sở hạ tầng ngầm, đồng thời cố gắng sử dụng không gian ngầm để xây dựng các công trình phục vụ những mục đích khác nhau. Bằng việc phát triển không gian ngầm, thành phố Helsinki đang nỗ lực bảo tồn diện mạo lịch sử của thành phố, giải quyết các vấn đề đô thị và quan tâm đến tình trạng môi trường.

2.1.6 Thành phố Tokyo (Nhật Bản)

Tất cả các tuyến tàu điện ngầm của thành phố Tokyo được tích hợp vào hệ thống giao thông đô thị, có các ga trung chuyển với tuyến đường sắt mặt đất. Như vậy, từ bất kỳ khu vực xa trung tâm nhất ở thành phố Tokyo đều có thể di chuyển đến trung tâm thành phố trong vòng chưa đầy một giờ.

Thành phố Tokyo cũng không hề tụt hậu so với các thành phố lớn, hiện đại về phát triển hạ tầng ngầm. Nhật Bản không chỉ là một trong những quốc gia dẫn đầu trong nhiều lĩnh vực, chẳng hạn như phát triển bền vững, mà còn bởi tình trạng thiếu đất đai đáng kể, với 127 triệu dân của quần đảo Nhật Bản trên diện tích lãnh thổ rộng 364,4 nghìn km². Do đó, Nhật Bản không chỉ sử dụng hợp lý không gian trên mặt đất mà cả không gian ngầm.

Hệ thống tàu điện ngầm ở Tokyo là hệ thống đông đúc nhất thế giới, với các nhà ga được kết nối với các trung tâm mua sắm và trụ sở cơ quan công quyền thông qua các đường hầm dành cho người đi bộ và sảnh chờ ngầm giao nhau ở các tầng sâu khác nhau. Trong các đường hầm này, người dân Tokyo tổ chức các khu mua sắm và giải trí. Trung tâm mua sắm ngầm đầu tiên ở Tokyo - Subway Store, được xây dựng vào năm 1932 tại Ga Ueno. Đến năm 1971, tổng diện tích công trình ngầm ở Tokyo đạt trên 500.000m².

Để thúc đẩy phát triển công trình ngầm ở Nhật Bản, năm 1991, Bộ Đất đai, Hạ tầng và Giao thông đã ban hành "Tiêu chuẩn về phát triển công trình ngầm" để đảm bảo việc sử dụng phối hợp không gian trên mặt đất và dưới lòng đất.

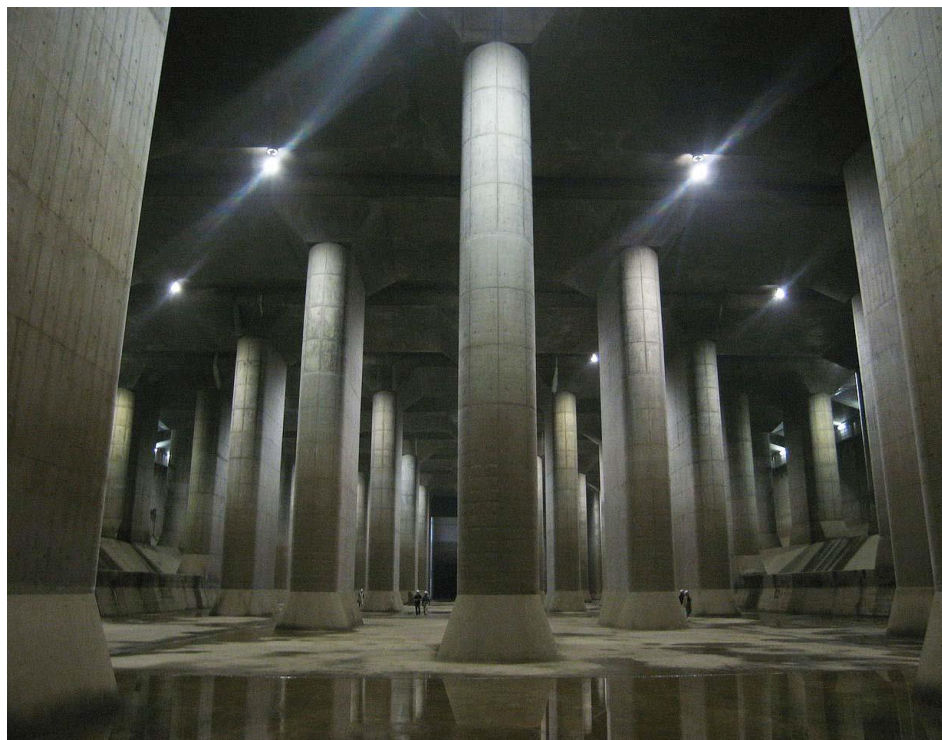
Ngày nay, một thành phố nhỏ đã được hình thành bên dưới lòng đất của Tokyo, như khu phố ngầm Yerasu.

Đối với Tokyo, việc xây dựng ngầm và di dời các công trình xã hội, sinh hoạt và giao thông xuống dưới lòng đất là điều cần thiết để thực hiện Chiến lược xây dựng một xã hội ít carbon mà Nhật Bản đã lựa chọn từ đầu những năm 2000. Thuật ngữ "Xã hội carbon thấp" có nghĩa là việc tạo ra một xã hội nỗ lực bảo vệ môi trường bằng cách từ bỏ sử dụng nhiên liệu hóa thạch và tạo ra các nguồn năng lượng thay thế.

Thông qua việc phát triển không gian ngầm, thành phố Tokyo đã giải quyết được một trong những vấn đề thuộc về điều kiện tự nhiên của thành

phố. Tokyo nằm ở một vị trí địa lý đặc biệt: nằm trên vùng đồng bằng Kanto ở phía Nam đảo Honsu, nơi có khí hậu gió mùa cận nhiệt đới, có vĩ độ và nhiệt độ tương tự như vùng Địa Trung Hải (mùa hè nóng với nhiệt độ trung bình từ 22-27⁰C, mùa đông mát mẻ với nhiệt độ từ 6-8⁰C). Mùa đông ở Tokyo là mùa khô với lượng mưa giảm, và thời gian còn lại là mùa mưa. Lượng mưa bình quân ở Tokyo vào khoảng 1537mm, cao gần gấp đôi so với lượng mưa của thành phố Luân Đôn (Vương quốc Anh). Nhật Bản cũng là quốc gia chịu ảnh hưởng nhiều của thiên tai, không chỉ động đất và còn thường xuyên xảy ra bão, lũ lụt. Diện tích lưu vực của sông Naka, chảy qua đồng bằng Kanto ở miền Đông Nhật Bản và đổ ra vịnh Tokyo, là khoảng 286km². Đây là một vùng trũng hình bát úp có độ dốc nhẹ về phía đại dương. Gần cạnh đó còn có các sông như Edogawa và Arakawa. Khu vực đồng bằng có núi bao quanh. Đặc điểm địa lý của khu vực này dẫn đến thực trạng là khi có mưa lớn, nước sông thường xuyên dâng cao, các vùng đất bằng phẳng bị ngập lụt và nước rút rất chậm, gây thiệt hại nặng cho các thành phố nằm trong vùng ngập lụt.

Tuy nhiên, Nhật Bản đã giải quyết vấn đề ngập lụt một cách triệt để và với trình độ kỹ thuật đáng kinh ngạc khi xây dựng được một hệ thống kiểm soát ngập lụt lớn nhất thế giới trong vòng 10 năm.



Hình 12. Một trong những bể chứa ngầm của hệ thống kiểm soát ngập lụt ở Tokyo

Nguồn: <https://ru.wikipedia.org>

Từ trên mặt đất, ta không nhận thấy bất kỳ điều gì khác biệt: một tòa nhà hành chính nhỏ và phía sau là một sân bóng đá. Ở một phía đầu sân có một gò đất nhỏ có cửa vào. Sau cánh cửa là cầu thang dẫn xuống dưới lòng đất. Đi hết cầu thang xuống bên dưới là quang cảnh của một cung điện ngầm thực sự có chiều dài 100m và cao 30m. Khi ở trạng thái bình thường, bể thu nước ngầm giống như trong ảnh trên, thậm chí không gian này còn được người ta thuê để quay phim cho các chương trình truyền hình và quảng cáo. Nhưng khi lũ lụt xảy ra, nơi đây sẽ trở thành bể chứa của hệ thống thu gom nước mưa chảy tràn từ các khu vực ngập úng. Tất cả các hệ thống kỹ thuật của công trình này hoạt động ở chế độ tự động, do đó, khi ở trạng thái không hoạt động chỉ có 01 người ứng trực tại công trình, và khi ở trạng thái hoạt động thì chỉ cần không quá 08 người vận hành.

Công trình này là minh chứng cho cách tiếp cận tích hợp để giải quyết các vấn đề toàn cầu mà hầu hết các quốc gia đều phải đối mặt trong tương lai gần do tác động của biến đổi khí hậu (<http://www.megapolis-online.ru>).

Sự phát triển không gian ngầm ở Tokyo không chỉ giúp giải quyết vấn đề đất đai chật hẹp mà còn chứng minh khả năng sử dụng không gian ngầm để xử lý các vấn đề liên quan đến thiên tai.

2.2 Sử dụng không gian ngầm ở Nga qua thực tiễn tại thành phố Matxcova và Xanh Petecbua

2.2.1 Thành phố Matxcova

Việc lựa chọn nghiên cứu thành phố Matxcova và Xanh Petecbua của Liên bang Nga là do đây là hai thành phố lớn trên bình diện dân số và diện tích, đồng thời cũng là hai thành phố chịu nhiều ảnh hưởng so với các thành phố khác ở Nga do vấn đề giao thông, môi trường, thiếu không gian phát triển v.v. Ngoài ra, tiềm lực kinh tế của hai thành phố này đủ để triển khai các dự án lớn và tốn kém. Tuy nhiên, thành phố Matxcova cũng như các thành phố khác của Nga đang tụt hậu đáng kể về quy mô và tính phức hợp trong xây dựng đô thị ngầm. Kinh nghiệm thế giới đối với các đô thị có quy mô tương tự như Matxcova, để đạt được mức độ tối ưu về phát triển bền vững, thì tỷ lệ công trình ngầm trên tổng số công trình xây dựng tối thiểu phải từ 20-25%. Trong khi đó, ở thành phố Matxcova "cổ kính", tỷ lệ này mới đạt 8%. Mặc dù đã áp dụng những công nghệ tiên bộ trong thi công công trình ngầm, nhiều ý tưởng thiết kế thú vị và các dự án phát triển mới,

nhưng thường là các tòa nhà và công trình ngầm ở thành phố Matxcova không được kết nối với nhau để giải quyết các vấn đề thực dụng. Tỷ trọng phát triển không gian ngầm tích hợp còn nhỏ, tầng sâu khai thác cũng hạn chế (Nghị quyết số 1049-PP ngày 19/11/2009 của chính quyền thành phố Matxcova về "Chương trình hành động về phát triển đô thị tích hợp không gian ngầm trên địa bàn thành phố Matxcova giai đoạn 2009-2011").

Tiến độ xây dựng tàu điện ngầm đang rất chậm. Mật độ của mạng lưới tàu điện ngầm ở thành phố Matxcova chỉ bằng 1/10 so với thành phố Paris (Pháp), trong khi cường độ khai thác thuộc hàng cao nhất thế giới. Tốc độ phát triển các đường hầm chậm hơn đáng kể so với nhu cầu (hơn 50 nút giao thông đang quá tải). Việc bố trí các lối đi bộ ngầm chưa đạt 40% theo yêu cầu đặt ra tại Nghị quyết số 1049-PP của Chính quyền thành phố. Hầu hết các công trình, bao gồm cả công trình thương mại đang được xây dựng mà không sử dụng không gian ngầm để làm bãi đậu xe.

Tuy nhiên, tại Matxcova, mặc dù điều kiện địa kỹ thuật không mấy thuận lợi nhưng vẫn đảm bảo các yếu tố cơ bản để đưa các công trình hạ tầng kỹ thuật, giao thông, xã hội, khoa học và công nghệ xuống dưới lòng đất. Theo ước tính, ngay cả khi không tính đến các vùng lãnh thổ được sáp nhập, có thể đưa xuống dưới ngầm khoảng 70% số bãi đỗ xe, 80% kho bãi hàng hóa, một nửa số kho tàng, 30% cơ sở kinh doanh dịch vụ, giải trí và thể thao. Một yếu tố thuận lợi là ở Nga duy trì quyền sở hữu nhà nước đối với lòng đất, điều này giúp tránh được những tranh chấp pháp lý phát sinh trong quá trình phát triển không gian ngầm như ở nhiều nước khác trên thế giới (xin phê duyệt, tranh chấp, các vụ kiện đòi bồi thường ...) (Belyaev, 2012).

Thành phố Matxcova đã triển khai những bước đi mang tính hệ thống đầu tiên về phát triển không gian ngầm. Từ năm 2007, Matxcova đã thông qua Chủ trương về phát triển không gian ngầm và Định hướng phát triển đô thị ngầm trên địa bàn thành phố. Năm 2008, thành phố đề ra Chương trình hành động trong 03 năm về phát triển đô thị tích hợp không gian ngầm (Nghị quyết số 1049-PP ngày 19/11/2009). Đặc biệt, Chương trình này quy hoạch bố trí các công trình ngầm làm một phần của các trung tâm đa chức năng và đầu mối giao thông. Tuy nhiên, nhiều hoạt động của Chương trình chậm được triển khai do bối cảnh khủng hoảng tài chính.

Tình hình hiện tại ở thành phố Matxcova trong việc sử dụng không gian ngầm trong xây dựng các tòa nhà cho nhiều mục đích công năng khác nhau có thể được mô tả như sau:

- Các dự án đã triển khai và các đề xuất dự án mới ở khu vực trung tâm thành phố có đặc điểm là tích cực khai thác không gian ngầm để bố trí không gian làm việc cho các tổ chức, doanh nghiệp, nhưng không gian ngầm của các dự án thường không có sự kết nối với nhau.

- Tại các khu vực ngoại thành, việc khai thác không gian ngầm rất hạn chế, số tầng cao xây dựng có xu hướng tăng lên. Các công trình hạ tầng kỹ thuật ngầm ở khu vực này, nếu có, thì chỉ mang chức năng đơn nhất.

Theo mục đích sử dụng, các công trình ngầm trong thành phố được phân bố như sau: Phổ biến nhất là các bãi đậu xe và trạm kỹ thuật, tiếp theo là kho, bãi hàng hóa, cơ sở thương mại và dịch vụ ăn uống. Kết nối dành cho người đi bộ với phương tiện giao thông công cộng (chủ yếu là tàu điện ngầm) chiếm một vị trí đặc biệt. Ngoài ra, cũng có một số cơ sở giải trí, xã hội, hành chính được đặt dưới không gian ngầm. Nhìn chung, mục đích sử dụng của các công trình ngầm được xác định bởi vị trí của chúng trong cấu trúc đô thị. Ở khu vực trung tâm, các khu phức hợp ngầm đa chức năng thường chiếm ưu thế. Khi di chuyển ra khỏi trung tâm và vào vùng ngoại vi, các công trình ngầm đơn chức năng (bãi đỗ xe, trạm kỹ thuật) là chủ yếu.

Hiệu quả kinh tế và triển vọng sử dụng không gian ngầm được tính bằng tỷ lệ (%) diện tích phần ngầm của công trình trên tổng diện tích của công trình. Trong phạm vi thành phố Matxcova, tỷ lệ này biến thiên từ 4% đến 87,5%. Việc sử dụng không gian ngầm tích cực nhất được ghi nhận ở khu vực trung tâm, với tỷ lệ 30%. Ở vùng ngoại vi, tỷ lệ này không đáng kể. Tính trung bình trên phạm vi thành phố, tỷ lệ công trình ngầm chỉ chiếm khoảng dưới 8% (Telichenko, Zertsalov, Konyukhov, 2010).

2.2.2 Thành phố Xanh Petecbua

Thành phố Xanh Petecbua nằm trên vùng đồng bằng sông Nê-va, trên một lớp trầm tích kỷ Đệ Tứ dày, có thành phần đá thấp và trung bình, gọi đơn giản là đất mềm.

Lớp nền hỗ trợ dưới đáy móng của các tòa nhà lịch sử là cát biển hồ gần bề mặt. Lớp cát này hoạt động như một loại đệm cát tự nhiên cho các tòa nhà có chiều cao giới hạn dưới chiều cao mái của Cung điện Mùa Đông

(24m). Ngoài vấn đề đạo đức (quy tắc không xây nhà cao hơn tòa nhà Hoàng gia), quy tắc này còn có ý nghĩa quan trọng về mặt địa kỹ thuật: hạn chế áp lực của tòa nhà xuống nền móng.

Nhờ đó, lớp cát gần bề mặt hoạt động tốt trong vai trò là lớp đệm, phân bổ áp lực xuống tầng đất yếu hơn ở bên dưới đáy móng - đất thịt mềm Kỷ Băng hà.

Loại đất này có đặc tính riêng, nếu không biết có thể dẫn đến những hậu quả đáng tiếc trong quá trình thi công xây dựng ở khu vực trung tâm thành phố, đặc biệt là khi thi công công trình ngầm.

Đây là loại đất có cấu trúc không ổn định. Các tác động của con người cùng với hoạt động xây dựng làm phá vỡ các liên kết cấu trúc trong loại đất này, làm chúng mất đi pha rắn và hóa nhão (đất có cấu trúc không ổn định chứa hàm lượng nước cao).

Sự phá vỡ các liên kết trong cấu trúc của đất, khiến đất hóa nhão và chuyển dịch do nước ngầm, làm gia tăng biến dạng do lực cắt. Hiện tượng này đã được các chuyên gia ở thành phố Xanh Petecbua phát hiện tại một loạt các địa điểm khảo sát có đào hố sâu.

Đối với đất hình thành tự nhiên, áp suất ngang của đất chỉ bằng khoảng một nửa so với áp suất thẳng đứng, thì khi các liên kết cấu trúc bị phá vỡ, áp suất này sẽ tăng lên đến giá trị áp suất thẳng đứng - như thường thấy ở môi trường lỏng (<http://www.undergroundexpert.info>).

Thuật ngữ "đất yếu" thường xuyên được sử dụng trong các diễn đàn xây dựng ở Xanh Petecbua, đến nỗi người không am hiểu có thể hình thành quan điểm rằng những loại đất này là đặc biệt và hoàn toàn không phù hợp cho hoạt động xây dựng công trình, nhất là công trình ngầm. Tuy nhiên, các nhà địa chất khẳng định rằng, thuật ngữ "đất sét yếu" là chỉ một loạt đất sét có các thông số nhất định về độ ẩm, độ đặc chắc, mô đun biến dạng, độ bền thiết kế..., loại đất này có mặt ở khắp mọi vùng địa lý của trái đất.

Theo Giáo sư Rashid Mangushev, trưởng khoa kỹ thuật thủy lợi tại Đại học Kiến trúc và Kỹ thuật Xây dựng Xanh Petecbua: công nghệ hiện đại giúp xây dựng được hầu hết mọi công trình trên mọi lãnh thổ. Nhưng trước khi phê duyệt dự án, cần phải tiến hành khảo sát địa chất, dựa trên kết quả đó sẽ quyết định công nghệ thi công. Trong một số trường hợp, cần gia cố đất và gia cố nền móng của các tòa nhà hiện có. Những sai sót trong thiết kế

và thi công có thể dẫn đến hậu quả không thể khắc phục được đối với cả công trình đang xây dựng và các công trình xung quanh. Ví dụ, dự án xây dựng Trung tâm mua sắm và giải trí Galeria (Ligovsky 30A) đã dẫn đến việc phá hủy hai ngôi nhà lịch sử (nhà 26 và 30 trên phố Ligovsky Prospekt) và làm biến dạng nghiêm trọng tòa nhà Pertsov (tòa chung cư được xây dựng vào năm 1910-1912, tại số 44, phố Ligovsky Prospekt), làm cho tòa nhà này lún 15 cm.

Có rất ít người biết rằng, từ năm 1983, Hội đồng thành phố đã thông qua Nghị quyết "về việc sử dụng không gian ngầm thành phố Leningrad". Nghị quyết này cùng các tài liệu kèm theo đang được lưu trữ tại Cục Lưu trữ thành phố Xanh Petecbua. "Sơ đồ tổng thể về tổ chức quy hoạch và sử dụng không gian ngầm ở Leningrad" là kết quả nhiều năm làm việc của một số viện nghiên cứu. Từ hơn 30 năm trước, các nhà khoa học của Nga đã khuyến nghị sử dụng tới 100 % không gian ngầm bên dưới trung tâm lịch sử của thành phố. Cho dù điều kiện xây dựng ngầm ở khu vực này không mấy thuận lợi, nhưng đề xuất này có vẻ phù hợp và hiệu quả.

Vào thập niên 1970, ô tô cá nhân là một thứ xa xỉ, chưa được coi là phương tiện di chuyển phổ biến, nhưng khi đó, các nhà quy hoạch đã thấy trước sự gia tăng như vũ bão của các phương tiện cá nhân và đề xuất "xây dựng bán ngầm và ngầm các bãi đỗ xe một tầng và nhiều tầng, độc lập và kết hợp với các tòa nhà công cộng lớn, tại các khu vực tập trung hệ thống dịch vụ, tại các điểm đầu mối trung chuyển giao thông, bên dưới quảng trường và lối ra vào công viên. Tại các khu nhà ở đã xây dựng, đặc biệt là nhà ở cao tầng trong khu vực giá đất cao và tại nơi có mật độ dân số đông v.v, ở khu vực trung tâm: xây dựng các bãi đỗ xe ngầm nhiều tầng quy mô lớn bên dưới quảng trường và đường phố. Tại khu vực dân cư: tạo ra các tầng ngầm nhân tạo bằng cách làm mái che cho phần sân ở ngang tầng một. Xây dựng các bãi đỗ xe ngầm lớn tại 03 khu vực: Lối vào thành phố tại các nhà ga tàu điện ngầm cuối tuyến; trên các tuyến đường dẫn vào trung tâm thành phố; xung quanh khu vực trung tâm".

Hội đồng thành phố Leningrad đã phê duyệt chỉ tiêu phát triển không gian ngầm như dưới đây:

- Khu vực lõi ở trung tâm thành phố là khu vực sử dụng tối đa không gian ngầm (50-100% diện tích khu vực);

- Khu vực phát triển trong thành phố, dọc theo các tuyến phố chính của các quận mới: Đại lộ Stachek - Đại lộ Marshal Zhukov, Đại lộ Moskovsky, Phố Bukharetskaya, Đại lộ Obukhovskoy Oborony, Đại lộ Dalnevostochny - Đại lộ Bolshevikov, Đại lộ Zanevsky - Đại lộ Ladozhsky, Đại lộ Grazhdansky, Đại lộ K. Marx, Đại lộ Engels, Đại lộ Kolomyazhsky, Đường cao tốc số 11 ở phía Tây Bắc thành phố - mật độ sử dụng không gian ngầm là 20-50%.

- Khu dân cư: 8-30%.

- Khu công nghiệp và kho bãi: 10-20%.

- Khu vực giải trí: 1%.

Vào thời kỳ đó, công nghệ đào hầm đã cho phép việc thi công xây dựng các công trình ngầm ở độ sâu đến 40m, phù hợp cho việc xây dựng đường tàu điện ngầm, hạ ngầm các hệ thống đường ống kỹ thuật: cáp điện, cáp điện thoại, cấp nước, thoát nước, cấp nhiệt... với những lợi ích to lớn: để sửa chữa một điểm hư hỏng của hệ thống hạ tầng kỹ thuật tiện ích, sẽ không cần phải cắt hàng km mặt đường nhựa, đào rãnh sâu, chặn đường giao thông hay cắt nguồn nước (nhiệt) của các khu dân cư trong nhiều ngày, thậm chí nhiều tuần.

Khi xây dựng "quy hoạch tổng thể" phát triển không gian ngầm, vấn đề giao thông được đặc biệt chú trọng. Giai đoạn đầu tiên thực hiện Quy hoạch này đã được lập kế hoạch từ năm 1990. Đến đầu Thế kỷ XXI, mạng lưới tàu điện ngầm trên toàn thành phố dự kiến dài 256km và bao gồm 159 nhà ga. Để tiện so sánh, hiện nay mới đưa vào vận hành được 112,54km và 65 nhà ga. Bên cạnh đó, trong kế hoạch còn đề ra việc xây dựng một hầm đường sắt sâu bên dưới khu vực trung tâm thành phố và các hầm giao thông dọc theo các tuyến đường cao tốc chạy suốt qua thành phố. Một hệ thống đường bộ gồm các trục ngang, dọc sẽ kết nối toàn bộ các khu vực dân cư của thành phố Leningrad: Khu vực ngoại ô, khu vực phát triển mới, khu vực nội thành và khu vực lõi của thành phố.

Các đô thị lớn, bao gồm cả thành phố Xanh Petecbua, cần phải phát triển trên cơ sở một đồ án quy hoạch chung đô thị được nghiên cứu kỹ lưỡng, dựa trên các chiến lược phát triển kinh tế - xã hội trung hạn và dài hạn. Phát triển không gian ngầm là một trong những giải pháp cho vấn đề giao thông, môi trường và cơ sở hạ tầng mà thành phố đang phải đối mặt.

Nhưng trong 20 năm qua, các giải pháp đơn giản cho các vấn đề phát triển đô thị đã cạn kiệt. Do sự phát triển dày đặc, không gian để tăng cường cơ sở hạ tầng giao thông, bao gồm mở rộng đường cao tốc, xây dựng đường hầm và các nút giao thông lập thể, tạo ra các khu vực sinh hoạt thoải mái, công viên và quảng trường, được hình dung trong bản thảo trước đây của Đồ án quy hoạch chung phát triển thành phố, đã khép lại. Việc xây dựng không theo quy hoạch các công trình ngầm riêng lẻ trên đất trống có thể tước đi cơ hội phát triển hơn nữa của thành phố. Để tránh tình trạng gặp phải các hàng rào cọc móng của một số công trình trên tuyến đường ngầm, cần phải tiếp cận vấn đề một cách toàn diện, như những thể hệ trước đã làm vào giữa Thế kỷ XX.

Hiện nay, khi so sánh với những thành phố đi đầu trong phát triển không gian ngầm, các thành phố của Nga có sự tụt hậu đáng kể. Một trong số các vấn đề là việc xây dựng các công trình ngầm tại các khu đất trống một cách hỗn loạn, thiếu đồng bộ, làm cản trở sự phát triển toàn diện không gian ngầm. Một vấn đề khác là vốn đầu tư không đủ và chính quyền không muốn chi tiêu số tiền lớn, vì ở giai đoạn ban đầu, việc phát triển không gian ngầm tốn kém hơn rất nhiều so với phát triển trên mặt đất. Nguyên nhân tiếp theo là do điều kiện địa chất phức tạp ở Matxcova và Xanh Petecbua. Về vấn đề này, hiện chưa thể chỉ ra một cách rõ ràng tất cả các yếu tố ảnh hưởng đến sự phát triển không gian ngầm. Tuy nhiên, có thể tin tưởng trong tương lai gần, với sự ra đời của các quy hoạch tổng thể phát triển không gian ngầm, cũng như đưa vào ứng dụng các công nghệ tiên tiến, các thành phố của Nga sẽ có bước tiến mạnh mẽ về xây dựng cơ sở hạ tầng ngầm.

CHƯƠNG III

ĐẶC ĐIỂM ĐỊA LÝ CỦA CÁC THÀNH PHỐ PHÁT TRIỂN KHÔNG GIAN NGẦM

3.1 Các thành phố khai thác không gian ngầm

Nga	
1. Mátxcova (Nga)	5. Kazan (Nga)
2. Saint Petersburg (Nga)	6. Nizhny Novgorod (Nga)
3. Volgograd (Nga)	7. Novosibirsk (Nga)

4. Ekaterinburg (Nga)	8. Samara (Nga)
Cộng đồng các quốc gia độc lập SNG	
1. Alma-Ata (Kazakhstan) 2. Baku (Azerbaijan) 3. Yerevan (Armenia) 4. Kyiv (Ukraina)	5. Krivoy Rog (Ukraina) 6. Minsk (Belarus) 7. Tashkent (Uzbekistan) 8. Kharkov (Ukraina)
Châu Âu	
1. Amsterdam (Hà Lan) 2. Antwerp (Hà Lan) 3. Athens (Hy Lạp) 4. Barcelona (Tây Ban Nha) 5. Berlin (Đức) 6. Bochum (Đức) 7. Brescia (Ý) 8. Brussels (Bỉ) 9. Budapest (Hungary) 10. Bucharest (Romania) 11. Valencia (Tây Ban Nha) 12. Warsaw (Ba Lan) 13. Viên (Áo) 14. The Hague (Hà Lan) 15. Hamburg (Đức) 16. Genoa (Ý) 17. The Hague (Hà Lan) 18. Hamburg (Đức) 19. Genoa (Ý) 20. Glasgow (Vương quốc Anh) 21. Dortmund (Đức) 22. Dusseldorf (Đức) 23. Geneva (Thụy Sĩ) 24. Catania (Ý) 25. Cologne (Đức)	31. London (Vương quốc Anh) 32. Madrid (Tây Ban Nha) 33. Malaga (Tây Ban Nha) 34. Marseille (Pháp) 35. Milan (Ý) 36. Munich (Đức) 37. Naples (Ý) 38. Newcastle (Vương quốc Anh) 39. Nuremberg (Đức) 40. Oslo (Na Uy) 41. Paris (Pháp) 42. Porto (Bồ Đào Nha) 43. Praha (Cộng hòa Séc) 44. Rennes (Pháp) 45. Rome (Ý) 46. Rotterdam (Hà Lan) 47. Seville (Tây Ban Nha) 48. Sofia (Bulgaria) 49. Istanbul (Thổ Nhĩ Kỳ) 50. Stockholm (Thụy Điển) 51. Tbilisi (Gruzia) 65. Toulouse (Pháp) 52. Turin (Ý) 53. Frankfurt am Main (Đức) 54. Helsinki (Phần Lan)

26. Copenhagen (Đan Mạch) 27. Lille (Pháp) 28. Lyon (Pháp) 29. Lisbon (Bồ Đào Nha) 30. Lausanne (Thụy Sĩ)	55. Zurich (Thụy Sĩ) 56. Charleroi (Bỉ) 57. Stuttgart (Đức) 58. Essen (Đức)
Châu Á	
1. Ankara (Thổ Nhĩ Kỳ) 2. Băng Cốc (Thái Lan) 3. Bursa (Thổ Nhĩ Kỳ) 4. Cao Hùng (Đài Loan) 5. Hồng Kông (Hồng Kông) 6. Quảng Châu (Trung Quốc) 7. Đại Liên (Trung Quốc) 8. Delhi (Ấn Độ) 9. Dubai (Các Tiểu Vương quốc Ả Rập Thống nhất) 10. Izmir (Thổ Nhĩ Kỳ) 11. Yokohama (Nhật Bản) 12. Incheon (Hàn Quốc) 13. Isfahan (Iran) 14. Kawasaki (Nhật Bản) 15. Calcutta (Ấn Độ) 16. Côn Minh (Trung Quốc) 17. Kyoto (Nhật Bản) 18. Kobe (Nhật Bản) 19. Kuala Lumpur (Malaysia) 20. Mashhad (Iran) 21. Mumbai (Ấn Độ) 22. Nagoya (Nhật Bản) 23. Nam Kinh (Trung Quốc) 24. Osaka (Nhật Bản) 25. Bắc Kinh (Trung Quốc) 26. Busan (Hàn Quốc)	27. Bình Nhưỡng (Triều Tiên) 28. Sapporo (Nhật Bản) 29. Seoul (Hàn Quốc) 30. Tây An (Trung Quốc) 31. Singapore (Singapore) 32. Istanbul (Thổ Nhĩ Kỳ) 33. Tô Châu (Trung Quốc) 34. Đài Bắc (Đài Loan) 35. Tehran (Iran) 36. Tokyo (Nhật Bản) 37. Daegu (Hàn Quốc) 38. Daejeon (Hàn Quốc) 39. Vô Tích (Trung Quốc) 40. Vũ Hán (Trung Quốc) 41. Phật Sơn (Trung Quốc) 42. Fukuoka (Nhật Bản) 43. Haifa (Israel) 44. Hàng Châu (Trung Quốc) 45. Cáp Nhĩ Tân (Trung Quốc) 46. Hiroshima (Nhật Bản) 47. Thanh Đảo (Trung Quốc) 48. Trường Xuân (Trung Quốc) 49. Trùng Khánh (Trung Quốc) 50. Thượng Hải (Trung Quốc) 51. Thâm Quyển (Trung Quốc) 52. Thẩm Dương (Trung Quốc) 53. Shiraz (Iran)

Châu Phi	
1. Alger (Algeria) 2. Cairo (Ai Cập) 3. Tunis (Tunisia)	
Châu Mỹ	
1. Atlanta (Mỹ) 2. Boston (Mỹ) 3. Baltimore (Mỹ) 4. Brasilia (Brazil) 5. Buenos Aires (Argentina) 6. Buffalo (Mỹ) 7. Valencia (Venezuela) 8. Vancouver (Canada) 9. Washington (Mỹ) 10. Winnipeg (Canada) 11. Halifax (Canada) 12. Guadalajara (Mê-hi-cô) 13. Dallas (Mỹ) 14. Dayton (Mỹ) 15. Thành phố Kansas (Mỹ) 16. Caracas (Venezuela) 17. Cleveland (Mỹ) 18. Thành phố Crystal (Mỹ) 19. Las Vegas (Mỹ) 20. Los Angeles (Mỹ) 21. Miami (Mỹ) 22. Thành phố Mexico (Mexico) 23. Montréal (Canada) 24. Monterrey (Mê-hi-cô)	25. New York (Mỹ) 26. Thành phố Oklahoma (Mỹ) 27. Albany (Mỹ) 28. Ottawa (Canada) 29. Panama (Panama) 30. Rio de Janeiro (Brazil) 31. Richmond (Mỹ) 32. Rochester, Minnesota (Mỹ) 33. Salvador (Brazil) 34. São Paulo (Brazil) 35. San Francisco (Mỹ) 36. Santo Domingo (CH Dominica) 37. Santiago (Chi-lê) 38. St. Louis (Mỹ) 39. Seattle (Mỹ) 40. Toronto (Canada) 41. Philadelphia (Mỹ) 42. Fortaleza (Brazil) 43. Havre (Mỹ) 44. Houston (Mỹ) 45. Chicago (Mỹ) 46. Edmonton (Canada)
Châu Úc	

1. Melbourne (Australia)	
2. Perth (Australia)	
3. Sydney (Australia)	

Bảng 1. Đặc điểm địa lý của các thành phố phát triển không gian ngầm

Thành phố	Độ cao so với mặt nước biển	Nhiệt độ trung bình hàng năm (°C)	Lượng mưa hàng năm (mm)
Nga			
Matxcova	144	5,8	708
Saint Petersburg	11	5,8	661
Volgograd	65	8,2	406
Yekaterinburg	255	3,1	537
Казань	61	4,6	558
Nizhny Novgorod	141	4,8	648
Novosibirsk	164	0,2	420
Samara	117	5,7	563
Cộng đồng các quốc gia độc lập SNG			
Alma Ata (Kazakhstan)	787	10	684
Ba Cu (Azerbaijan)	-23	15,1	258
Yerevan (Armenia)	994	11,6	319
Kiev (Ukraina)	187	8,4	619
Krivoy Rog (Ukraina)	99	9	442
Minsk (Bêlarut)	222	6,7	690
Tashkent (Uzbekistan)	424	14,8	440
Kharkov (Ukraina)	113	8,1	515
Châu Âu			

Amsterdam (Hà Lan)	13	10,8	778
Antwerp (Hà Lan)	10	10,1	778
Athens (Hy Lạp)	42	18,5	398
Barcelona (Tây Ban nha)	47	15,6	640
Béc-lin (Đức)	43	9,9	577
Bochum (Đức)	102	9,6	842
Brescia (Ý)	146	12,4	877
Brussels (Bỉ)	28	10,4	818
Budapest (Hungary)	111	11	542
Bucharest (Romania)	83	10,8	595
Valencia (Tây Ban Nha)	23	17,8	454
Warsaw (Ba Lan)	113	8,5	529
Viên (Áo)	193	10,5	649
The Hague (Hà Lan)	4	9,5	777
Hamburg (Đức)	8	9,8	771
Genoa (Ý)	126	14,7	1086
Glasgow (Vương quốc Anh)	40	8,9	1273
Dortmund (Đức)	96	9,5	829
Dusseldorf (Đức)	45	10,2	804
Geneva (Thụy Sĩ)	400	10,3	934
Catania (Ý)	40	17,8	567
Cologne (Đức)	58	10,1	774
Copenhagen (Đan Mạch)	14	8,4	621
Lille (Pháp)	27	10	673
Lyon (Pháp)	173	11,6	763
Lisbon (Bồ Đào Nha)	45	16,9	691

Lausanne (Thụy Sĩ)	453	9,2	932
Luân Đôn (V.Q. Anh)	25	11,1	621
Madrid (Tây Ban Nha)	665	13,7	450
Malaga (Tây Ban Nha)	22	18,4	520
Marseille (Pháp)	28	14,2	588
Milan (Ý)	127	13,1	1013
Munich (Đức)	524	8	930
Naples (Ý)	94	15,7	894
Newcastle (V.Q. Anh)	21	8,5	655
Nuremberg (Đức)	300	9	644
Oslo (Na Uy)	26	6,3	740
Paris (Pháp)	42	11,3	637
Porto (Bồ Đào Nha)	97	14,4	1178
Praha (Cộng hòa Séc)	202	9	486
Rennes (Pháp)	39	11,2	711
Rome (Ý)	52	15,7	798
Rotterdam (Hà Lan)	9	9,6	782
Seville (Tây Ban Nha)	16	18,6	576
Sofia (Bulgaria)	562	10,2	581
Istanbul (Thổ Nhĩ Kỳ)	39	14,1	747
Stockholm (Thụy Điển)	28	7	527
Tbilisi (Gruzia)	491	13,3	510
Toulouse (Pháp)	150	12,7	698
Turin (Ý)	245	12,6	846
Frankfurt am Main (Đức)	113	10	648
Helsinki (Phần Lan)	26	5,1	650

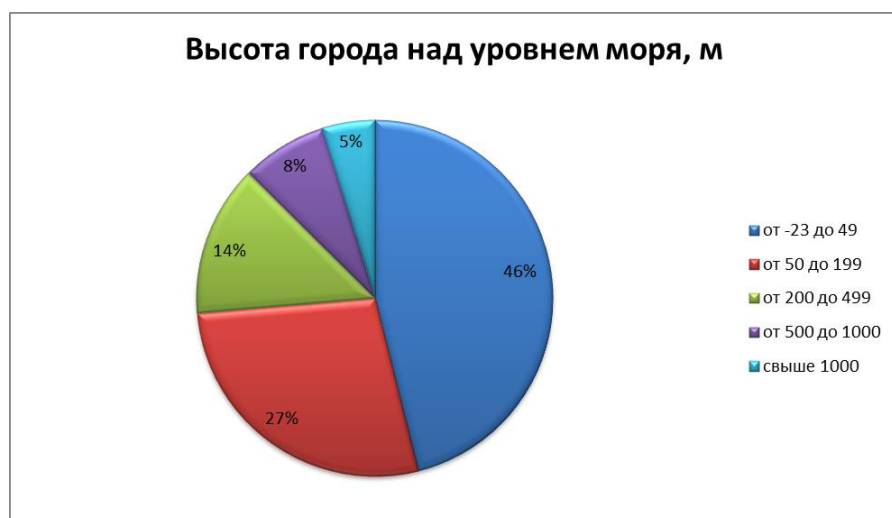
Zurich (Thụy Sĩ)	429	9,3	1085
Charleroi (Bỉ)	136	9,7	858
Stuttgart (Đức)	252	9,3	674
Essen (Đức)	83	9,9	843
Châu Á			
Ankara (Thổ Nhĩ Kỳ)	874	11,6	383
Băng Cốc (Thái Lan)	12	28,1	1430
Bursa (Thổ Nhĩ Kỳ)	155	13,6	646
Cao Hùng (Đài Loan)	9	23,9	2092
Hồng Kông (TQ)	3	22,8	2061
Quảng Châu (TQ)	15	22,2	1720
Delhi (Ấn Độ)	227	25,1	740
Dubai (Các Tiểu Vương quốc Ả Rập Thống nhất)	3	26,7	87
Izmir (Thổ Nhĩ Kỳ)	122	16,7	687
Yokohama (Nhật Bản)	21	15,6	1554
Incheon (Hàn Quốc)	43	11,7	1183
Isfahan (Iran)	1578	15	155
Kawasaki (Nhật Bản)	1	15,7	1506
Calcutta (Ấn Độ)	11	26,2	1735
Côn Minh (Trung Quốc)	1895	15,2	999
Kyoto (Nhật Bản)	50	15,4	1730
Kobe (Nhật Bản)	35	15,7	1400
Kuala Lumpur (Malaysia)	56	27,1	2486
Mashhad (Iran)	1003	13,5	251
Mumbai (Ấn Độ)	8	26,8	2386

Nagoya (Nhật Bản)	23	15,7	1644
Nam Kinh (Trung Quốc)	10	15,6	1001
Osaka (Nhật Bản)	24	15,9	1444
Bắc Kinh (Trung Quốc)	49	12,1	610
Busan (Hàn Quốc)	2	14,1	1380
Bình Nhưỡng (Triều Tiên)	43	9,8	965
Sapporo (Nhật Bản)	26	8,2	1153
Seoul (Hàn Quốc)	38	11,9	1373
Tây An (Trung Quốc)	416	14,8	528
Singapore (Singapore)	23	26,8	2378
Istanbul (Thổ Nhĩ Kỳ)	39	14,1	747
Tô Châu (Trung Quốc)	34	15,6	966
Đài Bắc (Đài Loan)	10	22	2574
Tehran (Iran)	1178	16,4	220
Tokyo (Nhật Bản)	44	15,6	1435
Daegu (Hàn Quốc)	45	13,6	1055
Daejeon (Hàn Quốc)	71	12,5	1319
Vô Tích (Trung Quốc)	10	15,4	1008
Vũ Hán (Trung Quốc)	20	17,2	1236
Fukuoka (Nhật Bản)	3	16,4	1665
Haifa (Israel)	40	21	525
Hàng Châu (Trung Quốc)	12	19,8	1467
Cáp Nhĩ Tân (TQ)	140	3,4	562
Hiroshima (Nhật Bản)	19	14,4	1640
Thanh Đảo (Trung Quốc)	46	12,6	730
Trường Xuân (TQ)	206	4,9	626

Trùng Khánh (TQ)	225	19	1083
Thượng Hải (TQ)	12	16,1	1066
Thâm Quyển (TQ)	4	22,9	1955
Thâm Dương (TQ)	53	8,6	698
Shiraz (Iran)	1545	16,8	316
Châu Phi:			
Algérie (Algérie)	186	17,7	707
Cairo (Ai Cập)	23	21,3	18
Tunis (Tunisia)	23	18,1	448
Châu Mỹ:			
Atlanta (Mỹ)	336	15,8	1303
Boston (Mỹ)	38	9,8	1122
Baltimore (Mỹ)	35	13,5	1088
Brasilia (Brazil)	1136	21,1	1668
Buenos Aires (Argentina)	31	16,8	1040
Buffalo (Mỹ)	184	8,4	980
Valencia (Venezuela)	457	24,5	1153
Vancouver (Canada)	70	9,9	1283
Washington (Mỹ)	6	13,3	1023
Winnipeg (Canada)	245	2,1	519
Halifax (Canada)	23	7,2	1508
Guadalajara (Mêhicô)	1598	19,6	941
Dallas (Mỹ)	139	18,7	919
Dayton, Ohio (Mỹ)	237	11,5	970
Thành phố Kansas (Mỹ)	272	12,9	963
Caracas (Venezuela)	887	20,9	933

Cleveland (Mỹ)	204	9,9	932
Las Vegas (Mỹ)	613	18,8	101
Los Angeles (Mỹ)	96	18,2	396
Miami (Mỹ)	25	24,2	1267
Thành phố Mexico (Mexico)	2240	15,9	625
Montréal (Canada)	216	6,4	975
Monterrey (Mêhicô)	543	22	604
New York (Mỹ)	57	12,1	1144
Thành phố Oklahoma (Mỹ)	395	15,7	845
Albany, New York (Mỹ)	50	8,8	944
Ottawa (Canada)	150	6	868
Panama (Panama)	17	27	1784
Rio de Janeiro (Brazil)	5	23,2	1278
Richmond, Virginia (Mỹ)	68	14	1092
Rochester, Minnesota (Mỹ)	314	6,8	793
Salvador (Brazil)	10	25,2	1781
Sao Paulo (Brazil)	769	18,5	1340
San Francisco (Mỹ)	28	14,1	537
Santo Domingo (Dominica)	55	25,7	1661
Santiago (Chile)	556	14,6	359
St. Louis (Mỹ)	149	13,3	957
Seattle (Mỹ)	56	10,9	969
Toronto (Canada)	175	8,3	785
Philadelphia (Mỹ)	40	12,5	1113
Fortaleza (Brazil)	18	26,3	1448
Havre, Montana (Mỹ)	770	6	295

Houston (Mỹ)	30	20,5	1145
Chicago (Mỹ)	180	10	918
Edmonton (Canada)	610	2,8	459
Châu Úc:			
Melbourne (Úc)	25	14,8	666
Perth (Úc)	34	18,7	807
Sydney (Úc)	58	17,6	1309



Hình 14. Tỷ lệ các thành phố có cơ sở hạ tầng ngầm theo độ cao so với mực nước biển (Độ cao trung bình so với mực nước biển là 207,6 m).



Hình 15. Tỷ lệ các thành phố phát triển không gian ngầm theo lượng mưa hàng năm (Lượng mưa trung bình hàng năm là 915 mm).



Hình 16. Tỷ lệ các thành phố phát triển không gian ngầm theo nhiệt độ trung bình hàng năm, °C (Nhiệt độ trung bình hàng năm là 13,8°C)

3.2. Các thành phố có tàu điện ngầm

Hầu hết các thành phố có khai thác không gian ngầm đều có tàu điện ngầm hoặc các tuyến giao thông công cộng ngầm khác. Số lượng các thành phố phát triển không gian ngầm mà không có tàu điện ngầm là rất ít. Điều này cho thấy, tiêu chí chính của việc phát triển không gian ngầm có thể là phát triển các tuyến đường tàu điện ngầm.

Bảng 2. Danh sách các thành phố có tàu điện ngầm

Thành phố	Diện tích (km ²)	Dân số (tập trung) 1.000 người	Mật độ dân số ng/km ²	GDP/ng (2015), USD	Chiều dài các tuyến tàu điện ngầm đang hoạt động, km
Nga:					
Matxcova	2561,5	12380,664 (15512)	4834	9323,3	346,6
Saint Petersburg	1403	5281,579 (62000)	3765	9323,3	113,6
Volgograd	859,4	1016,2	1183	9323,3	7,1(17.3)
Yekaterinburg	468	1455,904 (2211,425)	3311	9323,3	12,7

Казань	425,3	1231,878 (1560)	1915	9323,3	15,8
Nizhny Novgorod	466,5	1266,871 (2086,972)	3085	9323,3	18,9
Novosibirsk	505,6	1602,915	3171	9323,3	15,9
Samara	382	1169,719	2161	9323,3	10,3
Các nước SNG:					
Alma-Ata (Kazakhstan)	682	1722,1 (2500)	2346	10510	11,3
Baku (Azerbaijan)	2150	2181,8 (2673,7)	1015	5497,5	36,7
Yerevan (Armenia)	223,3	1074	4784	3489,1	12,1
Kyiv (Ukraine)	847,7	2929,029 (4071)	3456	2115	67,5
Krivoy Rog (Ukraine)	415	642,137	1548	2115	6,8(17,7)
Minsk (Belarus)	385	1974,8 (2648,5)	5661	5754,6	37,27
Tashkent (Uzbekistan)	334,8	2371,3 (6,5)	7083	2132,1	36,6
Kharkov (Ukraina)	350	1440,414 (2097)	4111	2115	40
Châu Âu					
Amsterdam (Hà Lan)	219,4	825,08	4768	44290,9	42
Antwerp (Bỉ)	204,5	510,61	2457	40454,2	8,1
Athens (Hy Lạp)	2929	664,046 (3089,068)	17027	18007	78
Barcelona (Tây Ban Nha)	101	1617,487 (3186,461)	16095	25684,7	157,5
Berlin (Đức)	892	3490,105 (4416,123)	3834	41178,5	152
Bochum (Đức)	146	375,187	2581	41178,5	22,7(99,3)
Brescia (Ý)	91	196,533	2176	29993,1	13,7
Brussels (Bỉ)	32,6	163,21 (1831,742)	5005	40454,2	38
Budapest (Hungary)	525	1744,665	3306	12365,6	38,3

Bucharest (Romania)	238	1883,425	7914	8980,7	69
Valencia (TBN)	134,7	810,064	6017	25684,7	24(144)
Warsaw (Ba Lan)	517	1744,351 (3100)	3372	12558,9	29,2
Viên (Áo)	414,7	1730,278	4025	43636,8	68
The Hague (Hà Lan)	98,2	501,725	6087	44290,9	1,25
Hamburg (Đức)	755,2	1803,752	2389	41178,5	101
Genoa (Ý)	243,6	596,571	2450	29993,1	7,1
Glasgow (Anh)	175,5	580,69 (1750)	3309	43929,7	10
Dortmund (Đức)	280,4	586,181	2091	41178,5	20(77)
Dusseldorf (Đức)	217	592,393	2658	41178,5	(68,5)
Catania (Ý)	180,9	315,576	1745	29993,1	4
Cologne (Đức)	405,2	1017,155	2511	41178,5	194,8
Copenhagen (Đan Mạch)	86,4	569,557 (1937,611)	6215	53014,6	21
Lille (Pháp)	34,8	233,897 (1154,861)	6778	36352,5	45,5
Lyon (Pháp)	47,9	506,615 (1748,271)	10041	36352,5	30,3
Lisbon (Bồ Đào Nha)	100,1	547,733	5475	19222,9	45,5
Lausanne (Thụy Sĩ)	41,4	138,634 (336,4)	3351	80999,3	14
Luân Đôn (Anh)	1706,8	8538,689	5173	43929,7	408
Madrid (TBN)	607	3041,579	8654	25684,7	296
Malaga (TBN)	398,3	569,009	1429	25684,7	11,3
Marseille (Pháp)	240,6	855,393	3555	36352,5	21,8
Milan (Ý)	181,8	1342,385 (3707,21)	7390	29993,1	100
Munich (Đức)	310,5	1526,149	4890	41178,5	103
Naples (Ý)	117,3	989,846	8441	29993,1	53,8
Newcastle (Anh)	114	276,96	2429	43929,7	78

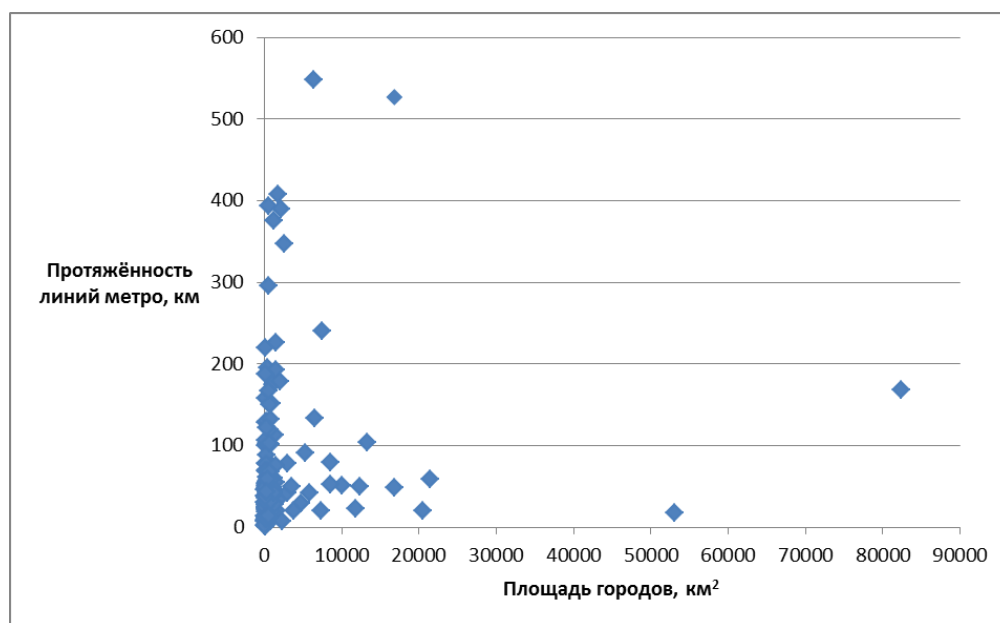
Nuremberg (Đức)	186,4	490,085 (1200)	2770	41178,5	36
Oslo (Na Uy)	454	634,463	1375	74481,8	80
Paris (Pháp)	105,4	2196,936 (10620)	21283	36352,5	219,9
Porto (Bồ Đào Nha)	41,7	221,8	5736	19222,9	8(70)
Praha (CH Séc)	496	1243,201	2506	17556,9	59
Rennes (Pháp)	50,4	209,860	4093	36352,5	9
Rome (Ý)	1287,4	2870,493 (3900)	2230	29993,1	60
Rotterdam (Hà Lan)	319,4	631,155	1933	44290,9	55,3
Seville (TBN)	140,8	706,365	5016,8	25684,7	18,6
Sofia (Bulgaria)	492	1350,009	2577	6993,5	39
Stockholm (Thụy Điển)	188	917,297 (2198,044)	4160	50585,3	106
Tbilisi (Gruzia)	720	1082,4 (1113)	1533	3757,1	26,3
Toulouse (Pháp)	118,3	437,409	3698	36352,5	27,5
Turin (Ý)	130	890,529	6918	29993,1	13,2
Frankfurt am Main (Đức)	248,3	693,136	2792	41178,5	71
Helsinki (Phần Lan)	715,5	620,982 (1299,541)	2911	42403,5	21
Charleroi (Bi)	102,1	202,703	1972	40454,2	25,6
Stuttgart (Đức)	207,4	613,392	2958	41178,5	(129)
Essen (Đức)	210,4	566,862	2695	41178,5	21,5
Châu Á					
Ankara (Thổ Nhĩ Kỳ)	1470	5270,575	3451	9125,7	55,1
Băng Cốc (Thái Lan)	1568,8	5674,843	3617	5814,8	20
Bursa (Thổ Nhĩ Kỳ)	1036	1562,828	1509	9125,7	38,9
Cao Hùng (Đài)	2946,3	2778,918	943	8069,2	42,7

Loan)					
Hồng Kông (TQ)	1104	7182,724	6480	42327,8	174,4
Quảng Châu (TQ)	7434,4	14000	1883	8069,2	239,9
Đại Liên (TQ)	13237	6690,432	506	8069,2	103,8
Delhi (Ấn Độ)	1483	11007,835 (16314,838)	11297	1593,3	192,7
Dubai (Các Tiểu VQ Ả Rập Thống nhất)	1114	2705,34	2429	40438,8	74
Izmir (Thổ Nhĩ Kỳ)	7340	2828,927	386	9125,7	20,1
Yokohama (Nhật Bản)	437,4	3709,686	8482	34523,7	53,4
Incheon (Hàn Quốc)	964,6	2978,367	2689	27221,5	29,4
Isfahan (Iran)	493,9	1583,609	3207	5442,8	11,2
Calcutta (Ấn Độ)	185	4486,679 (14112,536)	27462	1593,3	28,1
Côn Minh (TQ)	21473	6250	292	8069,2	58,5
Kyoto (Nhật Bản)	827,9	1474,735	1782	34523,7	31
Kobe (Nhật Bản)	552,3	1538,267	2786	34523,7	40,4
Kuala Lumpur (Malaysia)	243	1809,699 (6900)	7428	9768,3	56
Mashhad (Iran)	327	2749,374 (4455)	8400	5442,8	19
Mumbai (Ấn Độ)	603	17478,447 (27347,412)	20694	1593,3	11,4
Nagoya (Nhật Bản)	326,5	2275,171	6970	34523,7	89
Nam Kinh (TQ)	6582	8187,8	1244	8069,2	134,1
Osaka (Nhật Bản)	223	2685,481	12043	34523,7	130
Bắc Kinh (TQ)	16801	21705	1292	8069,2	527
Busan (HQ)	768,5	3414,95	4444	27221,5	131,7

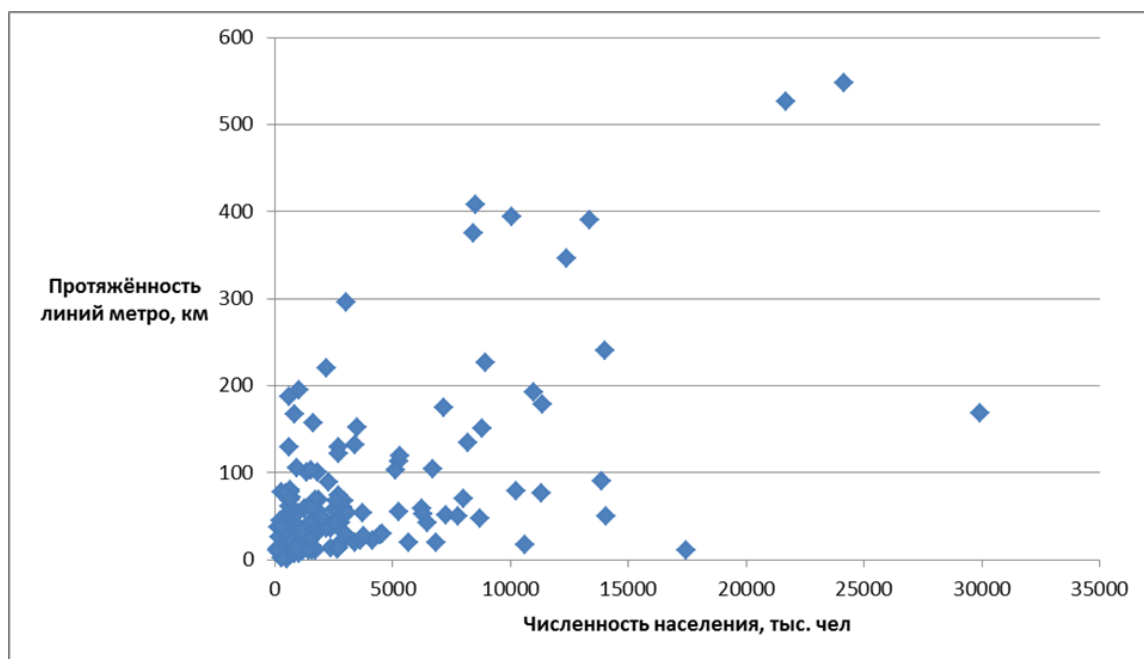
Bình Nhưỡng (Triều Tiên)	315	4138,187	13138		22,5
Sapporo (Nhật Bản)	1121,1	1933,787	1725	34523,7	48
Seoul (HQ)	605,3	10063,197 (23480)	16627	27221,5	393,6
Tây An (TQ)	9983	7270	1962	8069,2	51,8
Singapore	719,1	5312,4	7437	52888,7	119,4
Istanbul (Thổ Nhĩ Kỳ)	5343	13854,74	2481	9125,7	90,5
Tô Châu (TQ)	8488	6297	742	8069,2	52,3
Đài Bắc (Đài Loan)	271,8	2704,81 (8241,373)	9951	8069,2	121,4
Tehran (Iran)	707	8778,535 (13422,366)	12417	5442,8	150,6
Tokyo (Nhật Bản)	2188,7	13370,198	6109	34523,7	390
Daegu (HQ)	885,6	2518,467	2842	27221,5	57,3
Daejeon (HQ)	539,9	1502,579	2784	27221,5	22,74
Vô Tích (TQ)	4788	4580	957	8069,2	29,4
Vũ Hán (TQ)	8494	10220	1204	8069,2	79,1
Phật Sơn (TQ)	3814	3389	889	8069,2	20,4
Fukuoka (NB)	341,7	1517,65	4442	34523,7	30
Haifa (Israel)	63,7	278,903 (1048,9)	4224	35729,4	2
Hàng Châu (TQ)	16847	8700	517	8069,2	48
Cáp Nhĩ Tân (TQ)	53068	10635,971	201	8069,2	17,5
Hiroshima (NB)	905,4	1185,097	1309	34523,7	18,4
Trường Xuân (TQ)	20532	6830	333	8069,2	20,1
Trùng Khánh (TQ)	82403	29914	600	8069,2	168
Thành Đô (TQ)	12390	14047,5	888	8069,2	49,7
Thượng Hải (TQ)	6340,5	24152,7	3809	8069,2	548

Thâm Quyển (TQ)	1991,7	11380	5714	8069,2	178,4
Thảm Dương (TQ)	3495	7760	2217	8069,2	49,7
Shiraz (Iran)	340	1460,665	4296	5442,8	10,5
Châu Phi					
Algérie (Algérie)	273	2364,23	8661	4154,1	13,5
Cairo (Ai Cập)	528	8026,454 (17856,405)	15202	3614,7	69,8
Châu Mỹ					
Atlanta (Mỹ)	343	447,841 (5522,942)	1306	56115,7	77
Boston (Mỹ)	232,1	625,087 (4628,910)	4924	56115,7	61
Baltimore (Mỹ)	238,5	620,961 (2639213)	3039	56115,7	24,9
Brasilia (Brazil)	5802	2609,997	442	8677,8	42,4
Buenos Aires (Argentina)	202	2891,082 (14598,065)	14313	13467,4	51,5
Valencia (Venezuela)	2323	830(1300)	358	43315,7	7
Vancouver (Canada)	114,7	631,486 (2463,431)	5493	43315,7	68,6
Washington (Mỹ)	177	601,723 (5400)	3771	56115,7	188
Guadalajara (Mêhicô)	151	1494,252 (4424,252)	9896	9005	24
Caracas (Venezuela)	440	3051	6935	43315,7	54,1
Cleveland (Mỹ)	213,4	396,815 (1780,673)	1972	56115,7	31
Los Angeles (Mỹ)	1302	3792,621 (17775,322)	2913	56115,7	28(141)
Thành phố Mexico (Mexico)	1499	8918,653 (21200)	5900	9005	225,9
Montréal (Canada)	363,2	1704,694	4663	43315,7	69,2
Monterrey (Mêhicô)	860	1130,96 (4080,329)	1314	9005	32

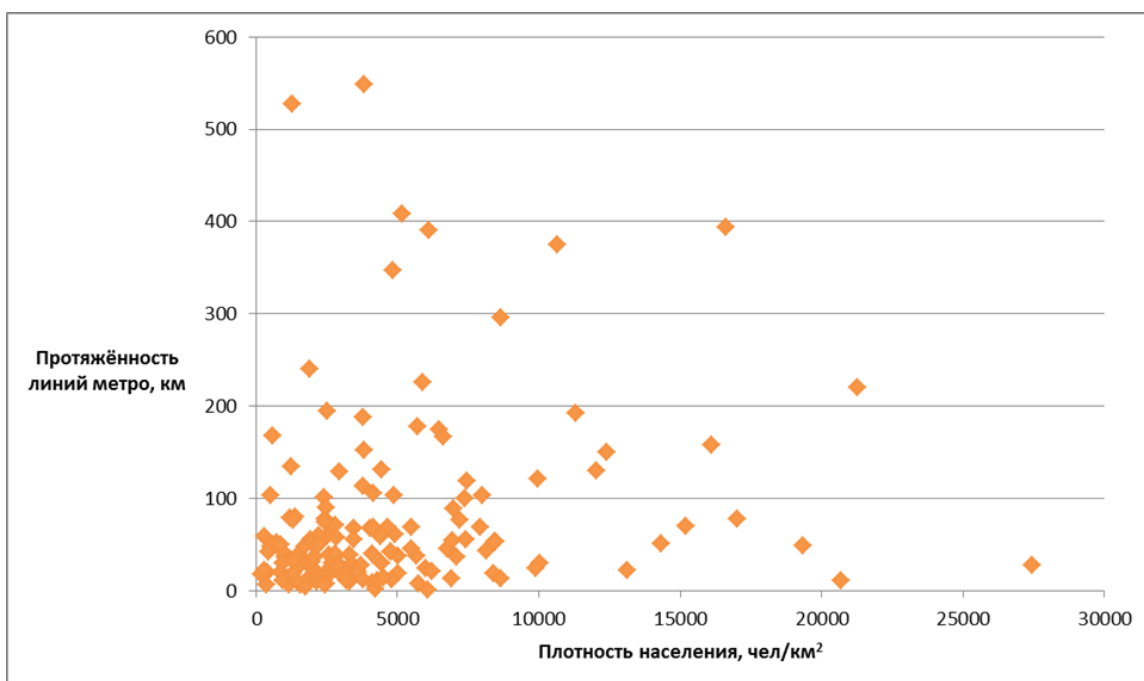
New York (Mỹ)	1214,9	8405,837 (20610)	10654	56115,7	375
Panama (Panama)	275	880,691 (1272,672)	3203	13268,1	13,7
Rio de Janeiro (Brazil)	1265	6476,631 (12620)	4781	8677,8	42
Rochester, Minnesota (Mỹ)	103	110,742(182,924)	948	56115,7	11
Salvador (Brazil)	706,8	2676,606 (3600)	3787	8677,8	11,9
Sao Paulo (Brazil)	1523	11316,149 (19889,559)	7217	8677,8	76,2
San Francisco (Mỹ)	600,6	852,469	6633	56115,7	167
Santo Domingo (CH Dominica)	104,5	2023,029	19360	6468,5	48,5
Santiago (Chile)	641,4	5128,590	7996	13416,2	103
St. Louis (Mỹ)	171,3	316,45 (2866,517)	2066	56115,7	37
Toronto (Canada)	630,2	2615,06	4150	43315,7	68,3
Philadelphia (Mỹ)	367	1560,297 (6015,170)	4394	56115,7	59,1
Fortaleza (Brazil)	313,2	2551,805 (3600)	8148	8677,8	43
Chicago (Mỹ)	606,1	2720,546 (9551,031)	4492	56115,7	14(171)



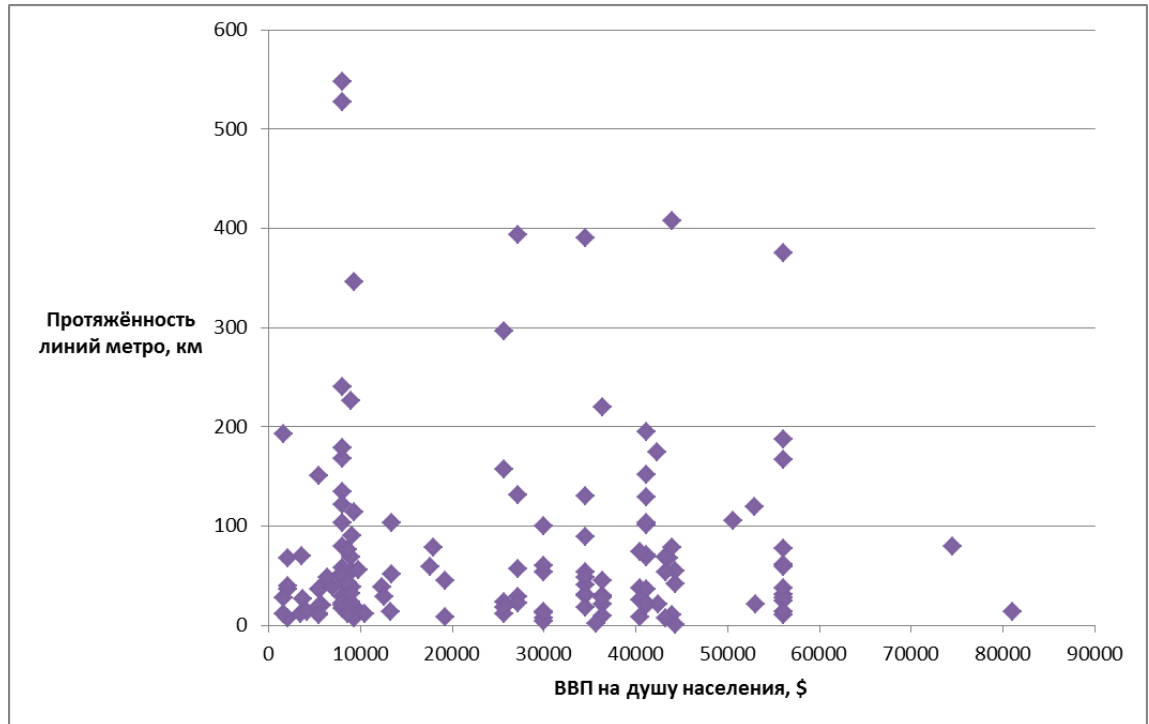
Hình 18. Tỷ lệ chiều dài tuyến tàu điện ngầm so với diện tích thành phố



Hình 19. Tỷ lệ chiều dài tuyến tàu điện ngầm so với dân số.



Hình 20. Tỷ lệ chiều dài tuyến tàu điện ngầm so với mật độ dân số.



Hình 21. Tỷ lệ chiều dài tuyến tàu điện ngầm so với GDP bình quân đầu người.

Từ danh sách các thành phố khai thác không gian ngầm ở trên, có thể lựa chọn ra những thành phố đi đầu về phát triển không gian ngầm. Tuy nhiên, ngoại trừ những số liệu về chiều dài các tuyến đường tàu điện ngầm, hiện chưa có số liệu thống kê chính thức về quy mô khai thác không gian ngầm của các thành phố. Do đó, để so sánh, trong nghiên cứu này lựa chọn các thành phố có tuyến đường tàu điện ngầm dài nhất và các thành phố nổi tiếng với hệ thống cơ sở hạ tầng ngầm độc đáo:

Thành phố Luân Đôn (Vương quốc Anh): có 408km đường tàu điện ngầm và hệ thống đường ống ngầm và giao thông ngầm phát triển.

Thành phố Madrid (Tây Ban Nha): có 296km đường tàu điện ngầm và cơ sở hạ tầng ngầm phát triển nhờ dự án Madrid Rio đã được triển khai.

Thành phố Montreal (Canada): có gần 69,2km đường tàu điện ngầm và có một khu vực dành cho người đi bộ ngầm RESO dài 32km.

Thành phố Toronto (Canada): có khu vực dành cho người đi bộ ngầm PATH dài 29km và có 68,3km đường tàu điện ngầm.

Thành phố Osaka (Nhật Bản): bên dưới lòng đất của thành phố là một thành phố ngầm Crysta Nagahori có diện tích 81.765m² lớn nhất ở Nhật Bản và một thành phố ngầm khác là Diamor Osaka với diện tích 42.977m².

Thành phố Helsinki (Phần Lan): cho đến nay đã khai thác khoảng trên 10 triệu khối dung tích không gian ngầm, với khoảng 220km đường hầm kỹ thuật, 24km đường hầm dẫn nước và 60km đường hầm dịch vụ tiện ích, với khoảng gần 400 công trình ngầm đã được hoàn thành xây dựng và đang triển khai xây dựng 200 công trình.

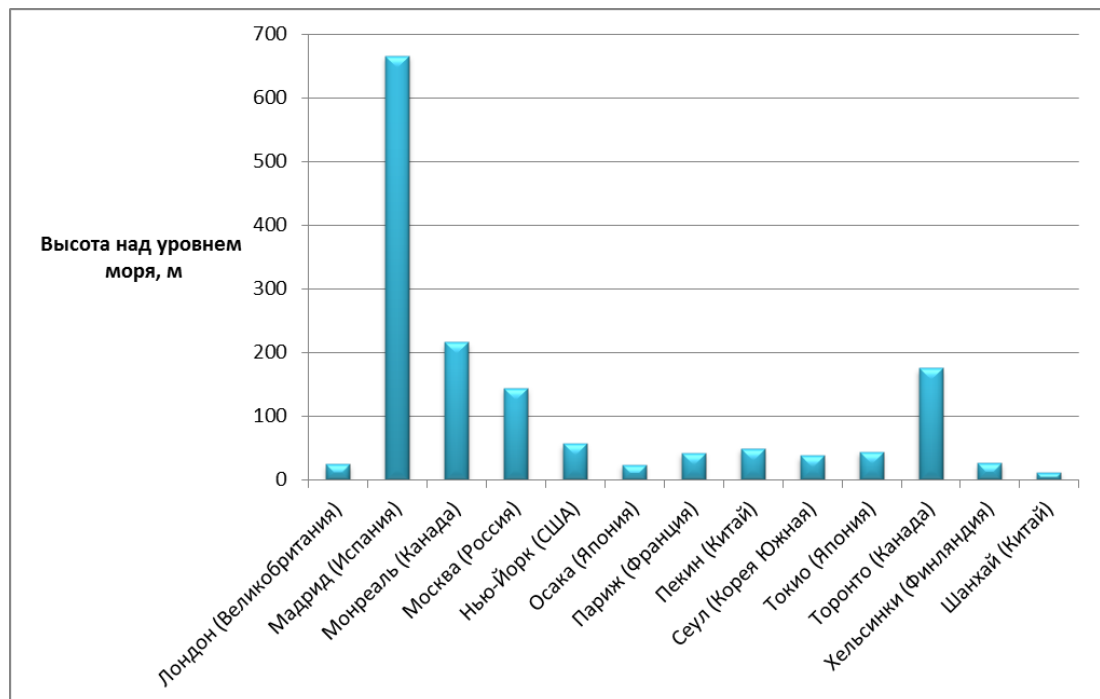
Bảng 3.1 Các thành phố đi đầu trong phát triển không gian ngầm

Thành phố	Cao độ so với mực nước biển, (m)	Nhiệt độ trung bình hàng năm, °C	Lượng mưa trung bình hàng năm, mm
Luân Đôn (Vương quốc Anh)	25	11,1	621
Madrid (Tây Ban Nha)	665	13,7	450
Montreal (Canada)	216	6,4	975
Matxcova (Nga)	144	5,8	708
New York (Hoa Kỳ)	57	12,1	1144
Osaka (Nhật Bản)	24	15,9	1444
Paris (Pháp)	42	11,3	637
Bắc Kinh (Trung Quốc)	49	12,1	610
Seoul (Hàn Quốc)	38	11,9	1373
Tokyo (Nhật Bản)	44	15,6	1435
Toronto (Canada)	175	8,3	785
Helsinki (Phần Lan)	26	5,1	650
Thượng Hải (Trung Quốc)	12	16,1	1066

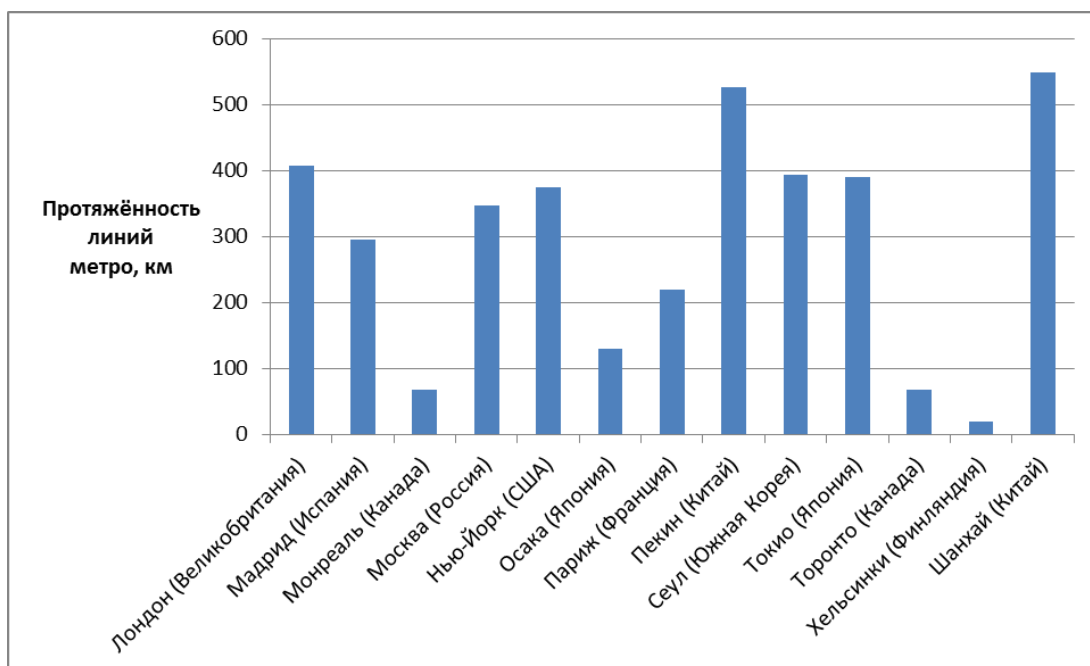
Bảng 3.2 Các thành phố đi đầu trong phát triển không gian ngầm

Thành phố	Diện tích, km²	Quy mô dân số (khu vực đô thị), nghìn người	Mật độ dân số, ng/km²	GDP, tỷ USD (2014)	Chiều dài đường tàu điện ngầm hiện hữu, km

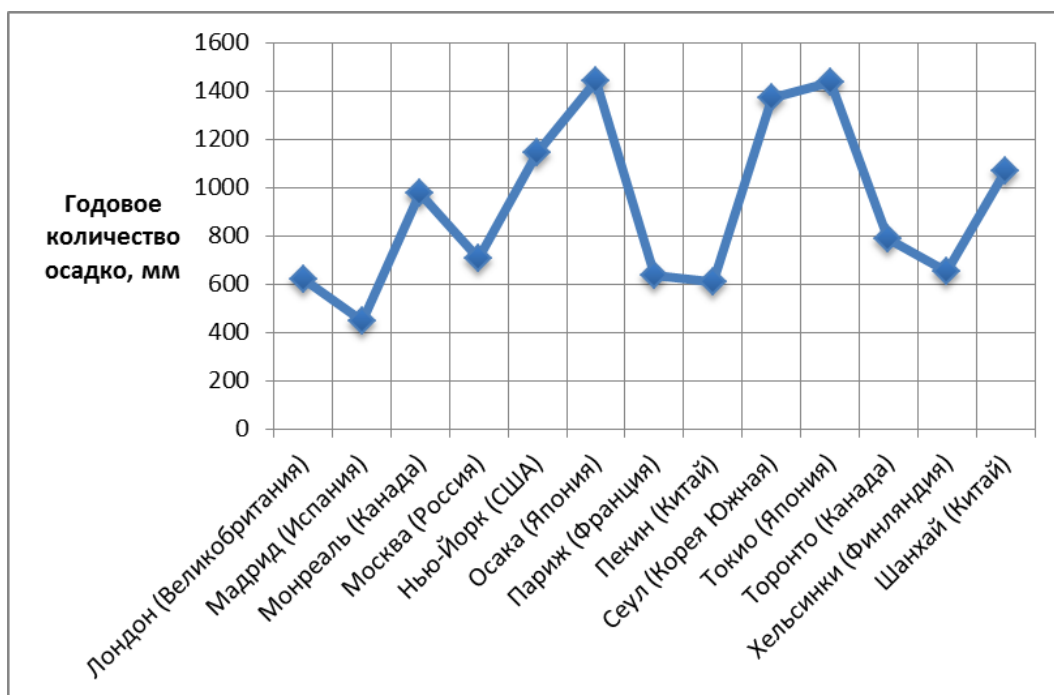
Luân Đôn (Anh)	1706,8	8538,689	5173	835,7	408
Madrid (TBN)	607	3041,579	8654	262,3	296
Montreal (Canada)	363,2	1704,694	4663	155,9	69,2
Matxcova (Nga)	2561,5	12380,664(15512)	4834	553,3	346,6
New York (Mỹ)	1214,9	8405,837(20610)	10654	1403	375
Osaka (Nhật Bản)	223	2685,481	12043	671,3	130
Paris (Pháp)	105,4	2196,936(10620)	21283	822,1	219,9
Bắc Kinh (TQ)	16801	21705	1292	506,1	527
Seoul (Hàn Quốc)	605,3	10063,197(23480)	16627	845,9	393,6
Tokyo (Nhật Bản)	2188,7	13370,198	6109	1617	390
Toronto (Canada)	630,2	2615,06	4150	276,3	68,3
Helsinki (Phần Lan)	715,5	620,982(1299,541)	2911	77,1	21
Thượng Hải (TQ)	6340,5	24152,7	3809	594	548



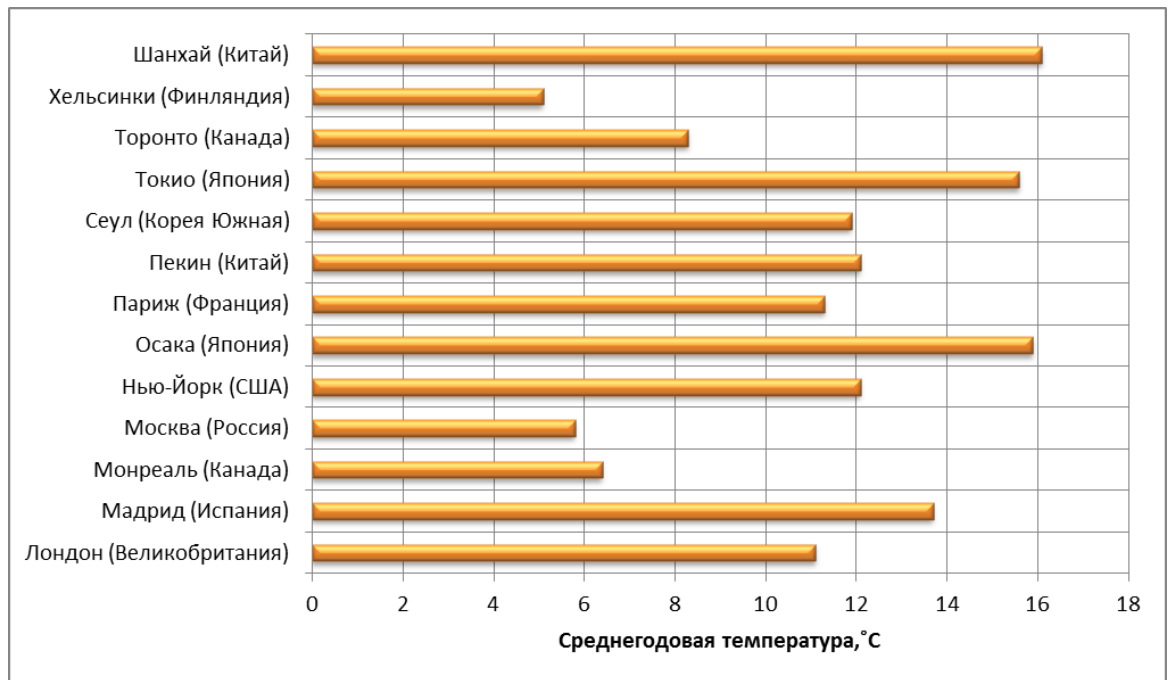
Hình 22. Chiều cao của các thành phố dẫn đầu trong việc phát triển không gian ngầm so với mực nước biển



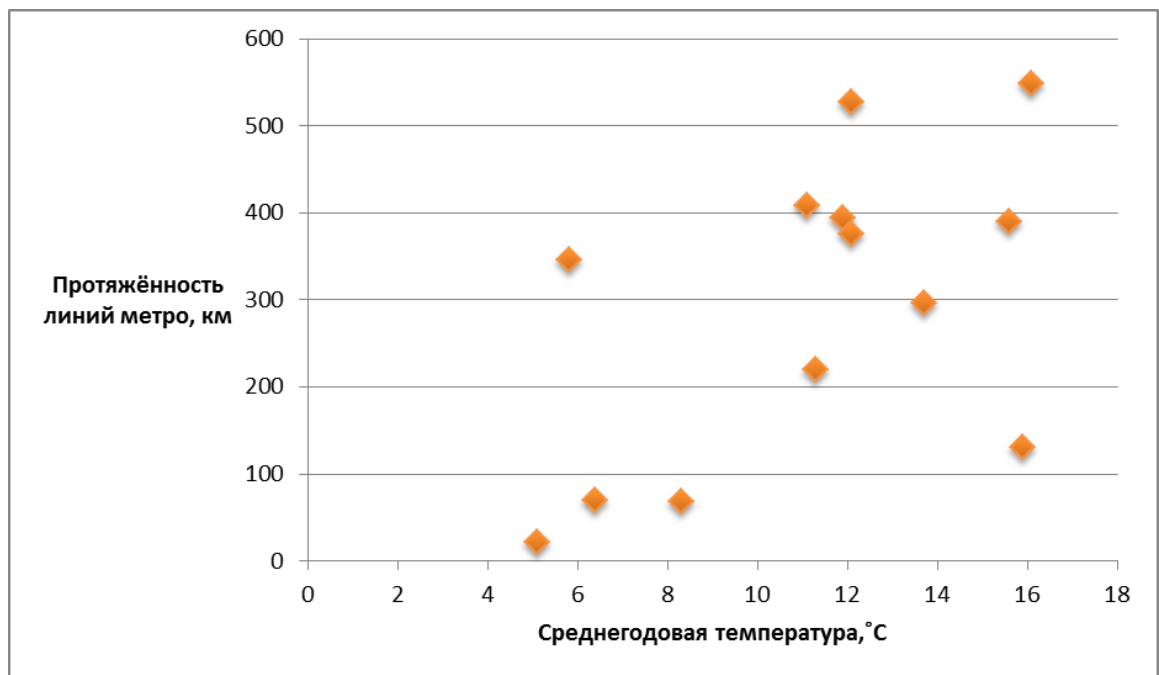
Hình 23. Chiều dài các tuyến tàu điện ngầm tại các thành phố đi đầu trong việc phát triển không gian ngầm



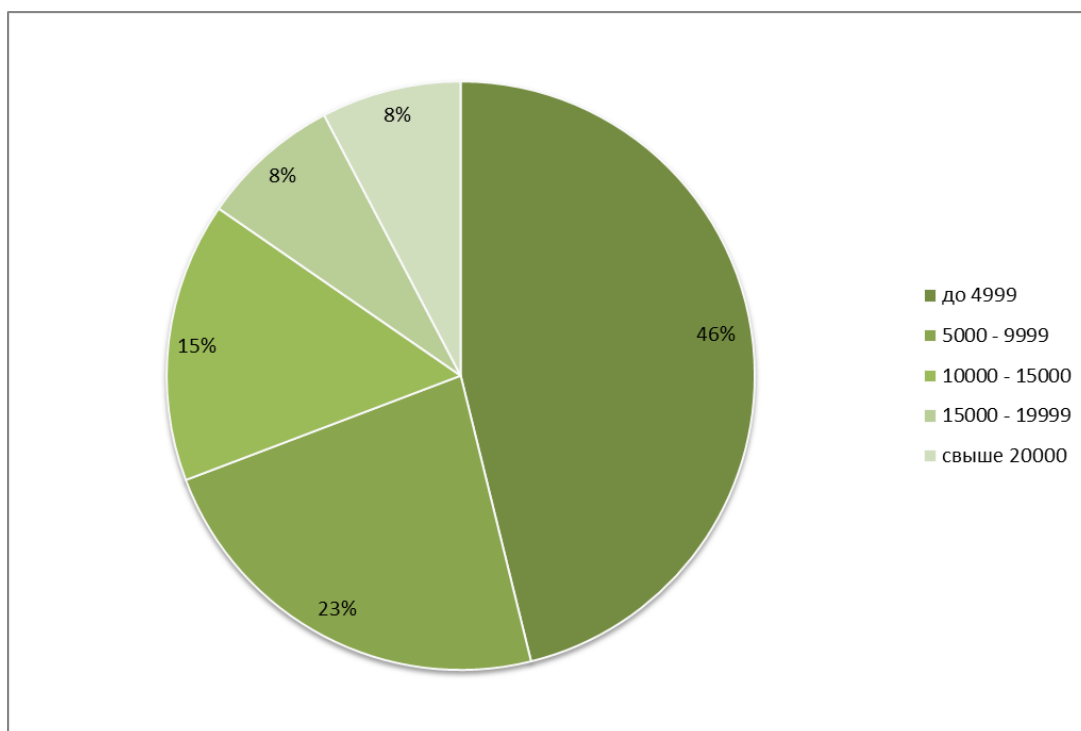
Hình 24. Biểu đồ lượng mưa hàng năm của các thành phố dẫn đầu về phát triển không gian ngầm



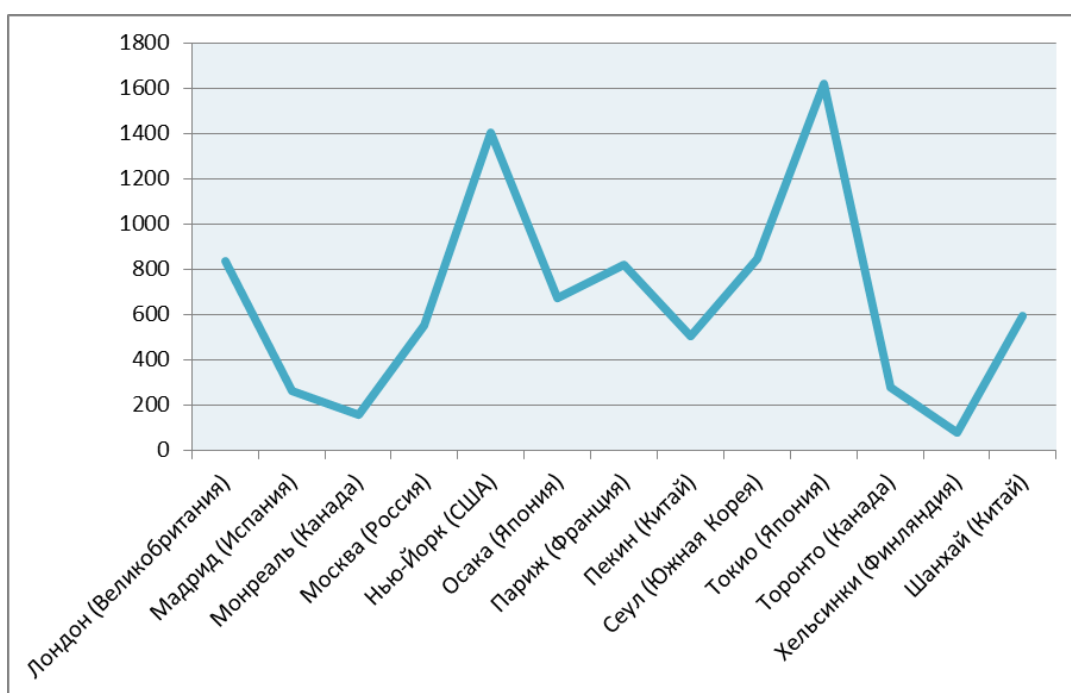
Hình 25. Nhiệt độ trung bình hàng năm của các thành phố dẫn đầu về phát triển không gian ngầm



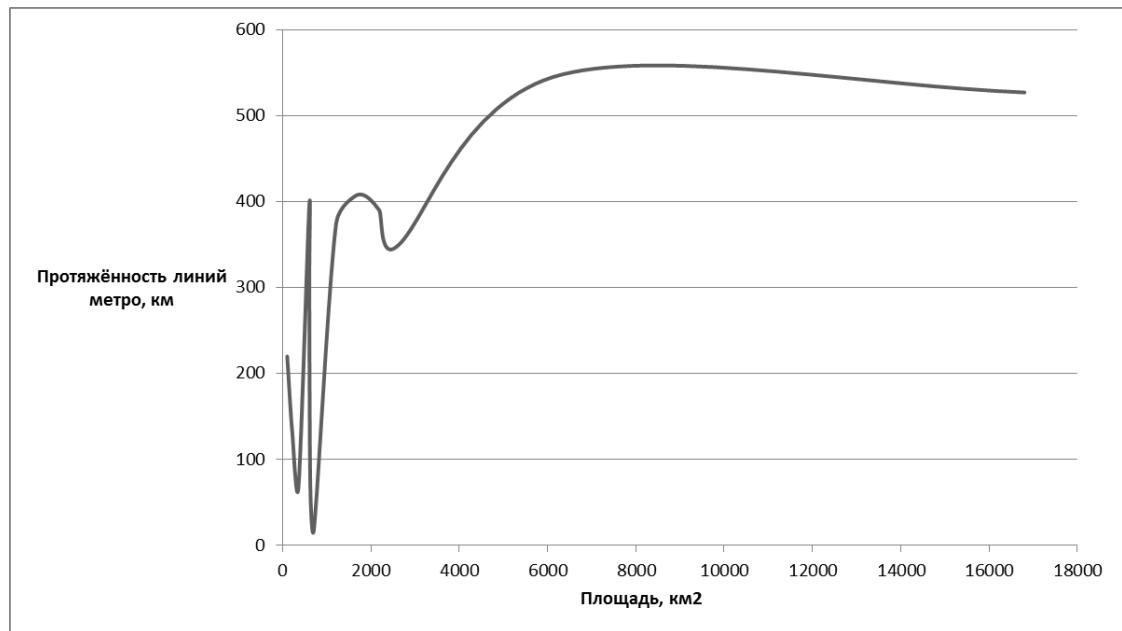
Hình 26. Mối quan hệ phụ thuộc giữa chiều dài đường tàu điện ngầm với nhiệt độ



Hình 27. Mật độ dân số của các thành phố dẫn đầu về phát triển không gian ngầm, người/km²



Hình 28. Quy mô GDP của các thành phố dẫn đầu về phát triển không gian ngầm (2014)



Hình 29. Mối quan hệ giữa chiều dài hệ thống tàu điện ngầm và diện tích thành phố

KẾT LUẬN

Các đặc điểm địa lý dưới đây của các thành phố nổi bật về sử dụng không gian ngầm đã được xem xét:

- Vị trí địa lý
- Cao độ so với mực nước biển
- Khí hậu (nhiệt độ và lượng mưa trung bình)
- Diện tích thành phố
- Quy mô dân số
- Mật độ dân số
- GDP bình quân đầu người và GDP quốc gia quy đổi theo sức mua tương đương theo đầu người
- Mối liên hệ giữa các số liệu trên với tổng chiều dài mạng lưới tàu điện ngầm.

Qua phân tích đặc điểm địa lý của các thành phố trong phạm vi nghiên cứu, có thể rút ra một số kết luận như sau:

1. Các thành phố khai thác sử dụng không gian ngầm chủ yếu nằm ở bán cầu Bắc;

2. Ba khu vực có mật độ phát triển không gian ngầm lớn nhất theo thứ tự là Đông Bắc Mỹ, Tây và Trung Âu, Bờ biển Thái Bình dương của Đông Nam Á, bao gồm quần đảo Nhật Bản và bán đảo Triều Tiên.

3. Hầu hết các thành phố phát triển không gian ngầm đều có tàu điện ngầm hoặc các đoạn tàu điện ngầm dưới lòng đất;

4. 73% các thành phố được nghiên cứu nằm ở cao độ dưới 200m so với mực nước biển;

5. Tại lãnh thổ của trên 50% các thành phố được nghiên cứu có lượng mưa trung bình từ 500 đến 900mm;

6. Phần lớn các thành phố phát triển không gian ngầm đều nằm ở vùng khí hậu ôn đới ẩm;

7. Ở hầu hết các thành phố khai thác tàu điện ngầm, tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm không quá 200km;

8. Có mối tương quan tích cực giữa quy mô dân số và tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm;

9. Không tìm thấy sự tương quan giữa tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm với mật độ dân số;

10. Không có mối tương quan giữa tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm với chỉ số GDP bình quân đầu người.

Kết luận về các thành phố đi đầu trong phát triển không gian ngầm:

1. Hầu hết các thành phố nằm ở cao độ đến 200m so với mực nước biển;

2. Tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm có sự biến thiên đáng kể từ 21km đến 548km;

3. Lượng mưa và nhiệt độ trung bình hàng năm dao động trong khoảng từ 450mm đến 1444mm và từ 5,1⁰C đến 15,6⁰C;

4. Có mối tương quan thuận giữa nhiệt độ trung bình hàng năm với tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm;

5. 69% các thành phố có mật độ dân số trên 10.000 người/km²;

6. GDP của các thành phố từ 77,1 đến 1.617 tỷ USD

7. Không xác định được mối tương quan giữa diện tích thành phố và tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm;

8. Các thành phố dẫn đầu về phát triển không gian ngầm đều có sự độc đáo trong sự so sánh với nhau.

Việc phát triển không gian ngầm hiệu quả có ý nghĩa quan trọng cho sự phát triển bền vững và hài hòa của các thành phố hiện đại. Nhiều vấn đề phức tạp của đô thị như giao thông, môi trường và những vấn đề khác sẽ khó có thể giải quyết được nếu như không sử dụng không gian ngầm. Nhờ việc phát triển của cơ sở hạ tầng ngầm, có thể làm tăng thêm đáng kể sự thoải mái của cuộc sống trong thành phố, khiến thành phố trở nên độc đáo và hấp dẫn hơn.

Mục đích của nghiên cứu này nhằm làm sáng tỏ những ảnh hưởng của đặc điểm địa lý đối với sự phát triển không gian ngầm ở các thành phố. Để làm điều đó, nhóm nghiên cứu đã tổng hợp, phân tích các tài liệu liên quan đến chủ đề này, trên cơ sở đó, không gian ngầm được coi là một thành tố quan trọng của phát triển bền vững. Tiếp theo là việc nghiên cứu kinh nghiệm nước ngoài trong phát triển không gian ngầm thông qua các thành phố điển hình như Amstecdam, Luân Đôn, Madrid, Montreal, Toronto, Helsinki và Tokyo. Thông qua việc xem xét, đánh giá việc sử dụng không gian ngầm của các thành phố này đã chỉ ra những đặc điểm cụ thể trong quá trình phát triển thực tế, giá trị của cơ sở hạ tầng ngầm trong sự phát triển của thành phố và giải pháp cho các vấn đề đô thị. Đặc điểm phát triển không gian ngầm của các thành phố này đã được làm nổi bật, để so sánh với việc sử dụng không gian ngầm ở Nga, thông qua ví dụ về hai thành phố lớn nhất là Matxcova và Xanh Petecbua, để thấy sự tụt hậu của các thành phố ở Nga về phát triển cơ sở hạ tầng ngầm. Sau nữa, các thành phố phát triển không gian ngầm được giới thiệu và phân tích các đặc điểm địa lý như vị trí địa lý, cao độ so với mực nước biển, khí hậu, diện tích, quy mô và mật độ dân số, GDP bình quân đầu người. Dựa trên việc lập bảng và phân tích sơ đồ kết quả để xác định mối tương quan và không tương quan giữa các yếu tố. Cuối cùng, dựa trên số liệu về tổng chiều dài hệ thống đường tàu điện ngầm ở các thành phố hoặc mức độ sử dụng không gian ngầm cho mục đích khác để xem xét các thành phố dẫn đầu về phát triển không gian ngầm. Các thành phố được phân tích dựa trên các đặc điểm địa lý để phát hiện hoặc không phát hiện ra mối quan hệ và mô hình, từ đó đưa ra những kết luận nhất định.

Xác định các đặc điểm địa lý của việc sử dụng không gian ngầm có thể giúp hiểu được các vấn đề và đặc điểm phát triển cơ sở hạ tầng ngầm ở

các thành phố khác nhau, đồng thời làm cho bức tranh chung của thế giới về khai thác sử dụng không gian ngầm ở các thành phố trở nên rõ nét hơn.

* * *

Nguồn tài liệu: "Đặc điểm địa lý của việc sử dụng không gian ngầm ở các thành phố"

Tác giả: Savchenko Oleg Vitalievich - Đại học quốc gia St.Peteburg.

Người dịch, biên tập (từ bản tiếng Nga): Bạch Minh Tuấn