

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH (TVU)

HỘI ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
VÀ MÔI TRƯỜNG VIỆT NAM (VAEGE)



HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT
VÀ MÔI TRƯỜNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
(VIETGEO 2025)



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Không phần nào trong xuất bản phẩm này được phép sao chép hay phát hành dưới bất kỳ hình thức hoặc phương tiện nào nếu không được phép của Nhà xuất bản Giao thông vận tải

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Số 8 phố Tăng Bạt Hổ - Phường Cửa Nam - TP. Hà Nội

Điện thoại: 024 39423346 - 39424620 * Fax: 024 38224784

Website: www.nxbgtvt.vn

Chịu trách nhiệm xuất bản, nội dung:

Giám đốc - Tổng Biên tập:

NGUYỄN MINH NHẬT

Biên tập nội dung:

VŨ VĂN BÁI

Biên tập sách điện tử:

VŨ VĂN BÁI

Kỹ thuật sách điện tử:

NGÔ NHỊ LƯƠNG

Trình bày:

HIỀN LƯƠNG

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 3850-2025/CXBIPH/1-78/GTVT.

Số quyết định xuất bản: 13 NB/QĐSĐT-XBGT ngày 22/10/2025.

Nộp lưu chiều tháng 10 năm 2025.

ISBN: 978-604-76-3233-6

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
(TVU)

HỘI ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
VÀ MÔI TRƯỜNG VIỆT NAM (VAEGE)

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH -
ĐỊA KỸ THUẬT VÀ MÔI TRƯỜNG
PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
(VIETGEO 2025)

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
VIETGEO 2025

BAN TỔ CHỨC:

1.	PGS. TS Tạ Đức Thịnh	Chủ tịch Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
2.	PGS.TS Nguyễn Minh Hòa	Hiệu trưởng Trường Đại học Trà Vinh
3.	GS.TSKH Phạm Văn Ty	Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
4.	PGS.TS Nguyễn Huy Phương	Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
5.	GS.TS Trần Thanh Hải	Hiệu trưởng Trường Đại học Mở - Địa chất
6.	PGS.TS Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất
7.	TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất
8.	PGS.TS Nguyễn Văn Lâm	Chủ tịch Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
9.	GS.TS Phạm Quý Nhân	Phó Chủ tịch Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
10.	PGS.TS Nguyễn Xuân Thảo	Chủ tịch Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
11.	TS. Phạm Quốc Phong	Phó Hiệu trưởng Trường Kỹ thuật và Công nghệ - Trường Đại học Trà Vinh
12.	TS. Huỳnh Văn Hiệp	Trường Đại học Trà Vinh
13.	TS. Võ Minh Huy	Trường Đại học Trà Vinh
14.	TS. Phan Văn Huệ	Hiệu trưởng Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
15.	TS. Phạm Ngọc Tiến	Chủ tịch Hội đồng trường Trường Đại học Xây dựng Miền trung
16.	TS. Phan Tuấn Anh	Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế
17.	PGS.TS Lê Hoài Đức	Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Giao thông vận tải
18.	TS. Phan Minh Quốc Bình	Hiệu trưởng Trường Đại học Dầu khí Việt Nam
19.	PGS.TS Phạm Trần Vũ	Phó Hiệu trưởng Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh
20.	TS. Nguyễn Đắc Đồng	Chủ tịch Tổng hội Địa chất Việt Nam

BAN KHOA HỌC:

1.	PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất (Trưởng ban)
2.	TS. Huỳnh Văn Hiệp	Trường Đại học Trà Vinh (Phó Trưởng ban)
3.	PGS.TS Nguyễn Đức Mạnh	Trường Đại học Giao thông Vận tải
4.	PGS.TS Nguyễn Thị Nụ	Trường Đại học Mở - Địa chất
5.	GS.TS Đỗ Minh Đức	Trường Đại học Khoa học tự nhiên
6.	PGS.TS Đậu Văn Ngo	Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
7.	GS.TS Phạm Quý Nhân	Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
8.	PGS.TS Phạm Huy Giao	Trường Đại học Dầu khí Việt Nam
9.	PGS.TS Phạm Đức Thọ	Trường Đại học Mở - Địa chất
10.	PGS.TS Vũ Minh Ngạn	Trường Đại học Mở - Địa chất
11.	PGS.TS Trần Thanh Nhân	Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế
12.	PGS.TS Đỗ Quang Thiên	Trường ĐH Khoa học, Đại học Huế

13.	TS. Nguyễn Văn Phóng	Trường Đại học Mở - Địa chất
14.	TS. Nguyễn Bách Thảo	Trường Đại học Mở - Địa chất
15.	TS. Trần Quang Tuấn	Trường Đại học Mở - Địa chất
16.	TS. Nguyễn Tiến Hùng	Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
17.	TS. Nguyễn Khắc Long	Trường Đại học Mở - Địa chất
18.	TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất
19.	TS. Bùi Trọng Vinh	Trường Đại học Bách khoa TP. HCM
20.	TS. Đào Hồng Hải	Trường Đại học Bách khoa TP. HCM
21.	TS. Nguyễn Công Định	Trường Đại học Giao thông Vận tải
22.	TS. Võ Minh Huy	Trường Đại học Trà Vinh
23.	TS. Lê Đàm Ngọc Tú	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
24.	TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

BAN THU KÝ:

1.	TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất (Trưởng ban)
2.	TS. Huỳnh Văn Hiệp	Trường Đại học Trà Vinh (Phó trưởng ban)
3.	ThS. Dương Thị Chiêu	Trường Đại học Trà Vinh
4.	ThS. Trịnh Thị Anh Duyên	Trường Đại học Trà Vinh
5.	ThS. Nguyễn Thành Công	Trường Đại học Trà Vinh
6.	ThS. Từ Hồng Nhung	Trường Đại học Trà Vinh
7.	TS. Dương Văn Bình	Trường Đại học Mở - Địa chất
8.	ThS. Phạm Thị Ngọc Hà	Trường Đại học Mở - Địa chất
9.	ThS. Nguyễn Văn Hùng	Trường Đại học Mở - Địa chất
10.	TS. Nguyễn Khắc Long	Trường Đại học Mở - Địa chất
11.	TS. Nguyễn Bách Thảo	Trường Đại học Mở - Địa chất

BAN BIÊN TẬP:

TẠ ĐỨC THỊNH
 BÙI TRƯỜNG SƠN
 NGUYỄN THÀNH DƯƠNG
 HUỲNH VĂN HIỆP
 DƯƠNG VĂN BÌNH
 NGUYỄN VĂN HÙNG

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

- Trường Đại học Trà Vinh
- Hội Địa chất công trình và môi trường Việt Nam
- Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam
- Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
- Tổng Hội Địa chất Việt Nam
- Trường Đại học Mở - Địa chất
- Trường Đại học Giao thông vận tải
- Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh
- Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế
- Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
- Trường Đại học Dầu khí Việt Nam

ĐƠN VỊ ĐỒNG HÀNH

- Trung tâm Nghiên cứu Địa kỹ thuật, Trường Đại học Mở - Địa chất
- Công ty CP Khoa học công nghệ Bách Khoa TP.HCM (BKTECHS)
- Công ty TNHH Nam Miền Trung
- Công ty TNHH Xuất nhập khẩu Phú Thành Phát
- Công ty TNHH Tư vấn, Triển khai công nghệ và xây dựng Mở - Địa chất (CODECO)
- Công ty CP Khảo sát thiết kế xây dựng Đất Việt

LỜI NÓI ĐẦU

Tiếp nối thành công của các kỳ Hội nghị khoa học VIETGEO, Hội nghị khoa học toàn quốc VIETGEO 2025 với chủ đề “Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và Môi trường phục vụ phát triển bền vững” được tổ chức tại Trường Đại học Trà Vinh trong hai ngày 24 - 25 tháng 10 năm 2025.

Hội nghị do Trường Đại học Trà Vinh và Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam đồng chủ trì cùng sự phối hợp của một số trường đại học, hội nghề nghiệp về các lĩnh vực địa chất công trình, địa kỹ thuật, xây dựng, địa chất thủy văn, môi trường và công nghệ khoan - khai thác.

Ban Tổ chức Hội nghị đã nhận được hơn 120 bài báo khoa học của các giảng viên, nhà khoa học, chuyên gia từ các trường đại học, viện nghiên cứu và doanh nghiệp trong cả nước. Sau quá trình phản biện nghiêm túc, 75 bài báo có chất lượng cao đã được chọn đăng trong Kỷ yếu Hội nghị VIETGEO 2025 do Nhà Xuất bản Giao thông Vận tải ấn hành.

Các bài báo trong Kỷ yếu tập trung nghiên cứu về các chủ đề:

- Địa chất công trình - Địa kỹ thuật,
- Địa chất thủy văn, tài nguyên nước và môi trường,
- Kỹ thuật xây dựng và Vật liệu xây dựng,
- Vật liệu địa kỹ thuật,
- Công nghệ khoan - khai thác,
- Tai biến địa chất và công nghệ quan trắc - cảnh báo sớm.

Hội nghị khoa học toàn quốc VietGeo 2025 là diễn đàn để các nhà khoa học, chuyên gia và doanh nghiệp chia sẻ kết quả nghiên cứu mới; trao đổi kinh nghiệm và tăng cường hợp tác về khoa học, công nghệ và chuyển đổi số về các chủ đề nêu trên, cung cấp luận cứ để xuất các chính sách, giải pháp kỹ thuật góp phần phát triển kinh tế - xã hội khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

Trong quá trình chuẩn bị Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự hỗ trợ quý báu cả về tinh thần và vật chất của một số trường đại học, viện nghiên cứu, hội nghề nghiệp cùng sự đồng hành của nhiều đơn vị, doanh nghiệp và các cá nhân. Ban Tổ chức xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến các cơ quan, tổ chức, cá nhân vì sự hỗ trợ quý báu đó. Đặc biệt, Ban Tổ chức xin cảm ơn và ghi nhận đóng góp to lớn của các tác giả bài báo khoa học, các phản biện, Ban Khoa học, Ban Thư ký và đội ngũ tình nguyện viên đã làm việc hết sức mình, tận tâm, chuyên nghiệp, đảm bảo chất lượng, tiến độ và sự thành công của Hội nghị.

Ban Tổ chức Hội nghị VIETGEO 2025 xin chân thành cảm ơn Nhà Xuất bản Giao thông Vận tải đã hỗ trợ xuất bản cuốn Kỷ yếu Hội nghị. Mặc dù đã có nhiều nỗ lực trong công tác biên tập và xuất bản, cuốn Kỷ yếu khó tránh khỏi những thiếu sót. Chúng tôi rất mong nhận được ý kiến đóng góp quý báu từ bạn đọc để Kỷ yếu của các kỳ hội nghị sau được hoàn thiện hơn.

BAN TỔ CHỨC HỘI NGHỊ

Vĩnh Long, ngày 24 tháng 10 năm 2025

THƯ CẢM ƠN

Hiệu trưởng Trường Đại học Trà Vinh

Trân trọng cảm ơn

Trong tinh thần hợp tác học thuật và phát triển bền vững, Trường Đại học Trà Vinh vinh dự phối hợp cùng Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam đồng tổ chức Hội nghị Khoa học toàn quốc “Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và Môi trường phục vụ phát triển bền vững - VIETGEO 2025”, diễn ra ngày 24 - 25/10/2025 tại Trường Đại học Trà Vinh.

Hội nghị là dịp để các nhà khoa học, chuyên gia và đơn vị nghiên cứu trên toàn quốc gặp gỡ, chia sẻ tri thức, giới thiệu những kết quả nghiên cứu có giá trị và cùng tìm kiếm các giải pháp ứng dụng vào thực tiễn. Đây cũng là cơ hội để Trường Đại học Trà Vinh đóng góp, chia sẻ và mở rộng hợp tác trong lĩnh vực địa chất, địa kỹ thuật, tài nguyên và môi trường - những lĩnh vực có ý nghĩa quan trọng đối với sự phát triển bền vững của quốc gia và vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

Thay mặt tập thể cán bộ, giảng viên và sinh viên Trường Đại học Trà Vinh, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Ban Tổ chức Hội nghị VIETGEO 2025, các cơ quan hữu quan và toàn thể các nhà khoa học đã dành nhiều tâm huyết, trí tuệ và thời gian để tạo nên một diễn đàn khoa học có ý nghĩa sâu sắc.

Những đóng góp quý báu của Quý vị không chỉ làm nên thành công của Hội nghị, mà còn góp phần lan tỏa tinh thần nghiên cứu, đổi mới và hợp tác trong cộng đồng khoa học Việt Nam. Tôi tin tưởng rằng, những giá trị học thuật được trao đổi tại VIETGEO 2025 sẽ tiếp tục được phát huy, trở thành nền tảng cho các dự án hợp tác nghiên cứu và đào tạo trong tương lai.

Trường Đại học Trà Vinh luôn trân trọng cơ hội được đồng hành cùng Quý vị trong sứ mệnh chung - phát triển khoa học, phục vụ cộng đồng và hướng tới phát triển bền vững.

Xin trân trọng cảm ơn!

HIỆU TRƯỞNG

PGS. TS. Nguyễn Minh Hòa

MỤC LỤC

Chủ đề I: ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH VÀ ĐỊA KỸ THUẬT

1. PHÁT HIỆN SẠT LỎ ĐẤT DỰA TRÊN KỸ THUẬT HỌC SÂU <i>Nguyễn Kim Cường, Kei Kawamura, Nguyễn Trung Kiên</i>	8
2. NGHIÊN CỨU CHẤT LƯỢNG CẤP PHỐI VỮA CHÈN LẤP VỎ HÀM TBM DỰ ÁN TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ THÍ ĐIỂM THÀNH PHỐ HÀ NỘI, ĐOẠN NHỒN - GA HÀ NỘI <i>Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn, Ngô Thị Thoan, Ngô Văn Luyện</i>	15
3. GEOLOGICAL EVOLUTION AND GEOMORPHOLOGICAL HERITAGES OF THE NAM O ROCKY SHORE PLATFORM IN THE COASTAL AREA OF DANANG, VIETNAM <i>La Duong Hai, Pham Phuoc Toan, Do Quang Thien</i>	22
4. XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU CHO DỰ TÍNH ĐỘ LÚN ỔN ĐỊNH CỦA NỀN ĐẤT YẾU BẰNG THÍ NGHIỆM DILATOMETER, ÁP DỤNG CHO KHU VỰC CẢI MẾP <i>Nguyễn Văn Phóng, Phan Tự Hương, Phan Thành Tiền, Trương Thanh Cẩn</i>	32
5. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG PHÂN CẤP VÀ TIÊU CHÍ PHÂN ĐỊNH ĐỊA TẦNG ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH <i>Nguyễn Văn Phóng, Bùi Trường Sơn, Bùi Văn Bình, Nguyễn Song Thanh, Nguyễn Tiến Dũng</i>	43
6. NGHIÊN CỨU MÔ PHÒNG LỮ Bùn ĐÁ TẠI TRÀ LENG, THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG BẰNG PHẦN MỀM IRIC - MORPHO 2DH <i>Vũ Văn Kiên, Nguyễn Châu Lân, Đỗ Tuấn Nghĩa</i>	53
7. KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH CHO CÁC DỰ ÁN ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI: THỬ THÁCH VÀ KINH NGHIỆM THỰC TẾ <i>Trương Thanh Cẩn, Nguyễn Quỳnh Luân, Nguyễn Văn Phóng</i>	64
8. ỨNG DỤNG PHẦN MỀM STATISTICAL PROCESS TRONG XỬ LÝ THỐNG KÊ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM ĐẤT ĐÁ <i>Phan Tự Hương, Đỗ Minh Tinh</i>	73
9. NGHIÊN CỨU, ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP XỬ LÝ THÂM QUA NỀN ĐẬP HỒ CHỨA NƯỚC SÔNG THAN, TỈNH KHÁNH HÒA <i>Phạm Thị Ngọc Hà, Nguyễn Tấn Sơn, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thành Dương</i>	82
10. NGHIÊN CỨU ĐỊA KỸ THUẬT PHỤC VỤ QUY HOẠCH XÂY DỰNG ĐÔ THỊ ÁP DỤNG CHO PHƯỜNG HẢI DƯƠNG, THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG <i>Đỗ Hồng Thắng</i>	91
11. PHÂN TÍCH THÂM VÀ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT TRONG TRƯỜNG HỢP MỰC NƯỚC THƯỢNG LƯU HẠ THẤP NHANH <i>Nguyễn Văn Hương, Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Thị Lộc, Nguyễn Văn Tươi, Nguyễn Quang Huy</i>	99
12. ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT KHI XẢY RA ĐỘNG ĐẤT: ÁP DỤNG CHO ĐẬP ĐẤT THƯỢNG KON TUM <i>Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Lộc, Lê Ngọc Viên, Nguyễn Văn Hương</i>	109
13. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT ĐẾN VIỆC CHỌN TUYẾN ĐƯỜNG CAO TỐC TUYẾN QUANG - HÀ GIANG, ĐOẠN QUA TỈNH TUYẾN QUANG CŨ <i>Nguyễn Đức Đảm, Phạm Thái Bình, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Công Định</i>	120
14. NGHIÊN CỨU SỨC CHỐNG CẮT ĐẤT SÉT LẤN SẠN TRÊN MẪU CHẾ BỊ CÓ KÍCH THUỐC KHÁC NHAU BẰNG THIẾT BỊ CẮT PHẪNG <i>Cao Trọng Công, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Châu Lân, Phạm Thu Trang</i>	127

30. NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IoT TRONG KIỂM SOÁT VÀ GIÁM SÁT BIẾN DẠNG KẾT CẤU BÊ TÔNG	
<i>Nguyễn Duyên Phong, Uông Quang Tuyến, Trần Tuấn Minh, Đặng Trung Thành</i>	268
31. VAI TRÒ CỦA KÍCH THUỐC HẠT CÁT TRONG VIỆC KIỂM SOÁT ĐỘ BẨM DÍNH CỦA SỢI THÉP TRONG BÊ TÔNG	
<i>Đặng Văn Phi</i>	274
32. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ THI CÔNG GIẾNG ĐÚNG VSM TRONG XÂY DỰNG BÃI ĐỖ XE NGẦM TẠI KHU VỰC ĐÔ THỊ HÀ NỘI	
<i>Vũ Minh Ngạn, Vũ Thái Linh</i>	281
33. ỨNG DỤNG VẬT LIỆU GEOPOLYMER TRONG ĐỊA KỸ THUẬT: MỘT TỔNG QUAN VỀ TÀI LIỆU NGHIÊN CỨU	
<i>Trần Nguyễn Thiện Tâm, Hoàng Trọng Quang</i>	289
Chủ đề III: ĐỊA CHẤT THỦY VĂN, TÀI NGUYÊN NƯỚC VÀ MÔI TRƯỜNG	
34. NGHIÊN CỨU XÂM NHẬP MẶN CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC VEN BIỂN Ở VIỆT NAM: THỰC TRẠNG VÀ THÁCH THỨC	
<i>Phạm Quý Nhân</i>	301
35. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP TRƯỜNG CHUYỂN XÁC ĐỊNH RANH GIỚI MẶN NHẠT CÁC TẦNG CHỨA NƯỚC TRẦM TÍCH TẠI ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG	
<i>Trần Vũ Long, Phạm Quý Nhân, Vũ Thu Hiền, Đào Đức Bằng</i>	318
36. ĐÁNH GIÁ CÁC NGUỒN THẢI VÀ KHẢ NĂNG TIẾP NHẬN NƯỚC THẢI CỦA HỒ CẨM SƠN	
<i>Nguyễn Mai Hoa</i>	324
37. THỰC TRẠNG QUẢN LÝ CHẤT THẢI ĐIỆN TỬ, THÁCH THỨC VÀ CƠ HỘI Ở VIỆT NAM	
<i>Phạm Khánh Huy</i>	331
38. MỘT SỐ TÍNH CHẤT VẬT LÝ, HÓA HỌC VÀ CƠ HỌC CỦA TRO ĐÁY LÒ ĐỐT RÁC THẢI SINH HOẠT KHU VỰC PHÍA BẮC VIỆT NAM	
<i>Phùng Đại Bình, Vũ Anh Tuấn, Phạm Đức Tiếp, Phạm Đức Phong, Bùi Đức Thụ</i>	338
39. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SỐ PHẦN TỬ HỮU HẠN MÔ PHÒNG, DỰ BÁO DÒNG CHẢY VÀ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG HOÀ TAN TRONG NƯỚC DƯỚI ĐẤT TẠI KHU VỰC CÔN CÁT VEN BIỂN BÌNH THUẬN	
<i>Trần Vũ Long, Nguyễn Văn Lâm, Đào Đức Bằng, Nguyễn Bách Thảo, Dương Thị Thanh Thủy, Trần Quang Tuấn, Vũ Thu Hiền</i>	348
40. ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG KHAI THÁC TÀI NGUYÊN NƯỚC DƯỚI ĐẤT KHU VỰC ĐẮK NÔNG	
<i>Trần Thị Thanh Thủy, Trần Thị Kim Hà</i>	356
41. ĐIỀU KIỆN THỦY VĂN LƯU VỰC SÔNG CÁI ĐOẠN PHAN RANG - NINH THUẬN VÀ CÁC GIẢI PHÁP KHAI THÁC SỬ DỤNG NGUỒN NƯỚC HIỆU QUẢ CHO CÁC CÔNG TRÌNH TRONG KHU VỰC	
<i>Vũ Thu Hiền</i>	364
42. XÂY DỰNG CÁC LỚP DỮ LIỆU ĐỊA HÌNH TỪ DEM SỬ DỤNG ARCGIS PRO PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU NGUY CƠ LŨ LỤT	
<i>Phạm Thị Thanh Hòa, Trần Hồng Hạnh, Lưu Thị Diệu Chinh</i>	369
43. ỨNG DỤNG FEFLOW MÔ PHÒNG LAN TRUYỀN ÂM VÀ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG TRONG ĐỐI KHÔNG BẢO HOÀ	
<i>Trần Vũ Long, Vũ Thu Hiền</i>	378
44. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XỬ LÝ NƯỚC NHIỄM CÁC LOẠI NHIÊN LIỆU KHÁC NHAU BẰNG VẬT LIỆU CELLULOSE-AEROGEL TỔNG HỢP TỪ QUẢ GÒN	
<i>Trương Thị Cẩm Trang, Tăng Thế Vinh, Nguyễn Đăng Khoa</i>	385

ỨNG DỤNG FEFLOW MÔ PHỎNG LAN TRUYỀN ẨM VÀ DỊCH CHUYỂN KIM LOẠI NẶNG TRONG ĐỐI KHÔNG BẢO HOÀ

Trần Vũ Long^{1,*}, Vũ Thu Hiền¹

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

*Tác giả liên hệ: Email: tranvulong@humg.edu.vn

Tóm tắt

Trong điều kiện thực tế, các chất ô nhiễm, đặc biệt là kim loại nặng, thường phát sinh từ các nguồn như chất thải rắn và nước thải, tồn tại trên bề mặt đất. Để xâm nhập vào tầng chứa nước dưới đất, các chất ô nhiễm này phải di chuyển qua đới không bão hòa, nơi quá trình vận động phụ thuộc chặt chẽ vào sự lan truyền ẩm. Sự lan truyền ẩm trong đất không bão hòa được mô tả bằng phương trình Richards phi tuyến tính. Nghiên cứu này ứng dụng mô hình phần tử hữu hạn (FEM) để mô phỏng quá trình lan truyền ẩm và sự dịch chuyển của các kim loại nặng trong đới không bão hòa tại khu vực cồn cát ven biển xã Tiến Thành, thành phố Phan Thiết, tỉnh Bình Thuận. Mô hình được xây dựng dưới dạng một chiều (1D) nhằm dự báo tốc độ dịch chuyển của các kim loại nặng từ bãi rác xuống mực nước ngầm. Kết quả mô phỏng cho thấy tốc độ xâm nhập của các kim loại nặng phụ thuộc không chỉ vào động Thái Lan truyền ẩm mà còn vào đặc tính hấp phụ của từng kim loại đối với trầm tích. Trong đó, Zn có tốc độ dịch chuyển nhanh nhất, với thời gian khoảng 67 năm để đạt đến tầng chứa nước. Các kim loại khác như Ni, Cd và Pb có tốc độ chậm hơn đáng kể, cần từ 70 đến 130 năm mới có thể xâm nhập đến mực nước ngầm.

Từ khóa: kim loại nặng; mô hình lan truyền ẩm; mô hình hấp phụ; cồn cát ven biển.

1. Đặt vấn đề

Trong các nghiên cứu Địa chất thủy văn thì quá trình lan truyền chất ô nhiễm chủ yếu được quan tâm trong môi trường bão hòa nước và ít quan tâm hơn tới môi trường không bão hòa. Tuy nhiên các chất ô nhiễm nói chung và kim loại nặng nói riêng thường tồn tại trên bề mặt đất tại các nguồn ô nhiễm như chất thải rắn và nước thải. Để có thể gây ô nhiễm tới nước dưới đất hay xâm nhập vào tầng chứa nước thì các chất ô nhiễm phải dịch chuyển qua đới không bão hòa. Quy luật dịch chuyển theo phương thẳng đứng trong đới không bão hòa của các loại chất bẩn, trong đó có các kim loại nặng phụ thuộc vào chủng loại của chất bẩn, phương thức ngấm của dung dịch nhiễm bẩn, các loại chất dung môi trong đới không bão hòa, bề dày, thành phần thạch học, độ ẩm và chiều sâu phân bố của nước dưới đất. Các chất nhiễm bẩn đều có tính vật lý, hoá học khác nhau, trong quá trình dịch chuyển thẳng đứng của chúng trong đới không bão hòa sinh ra tác dụng địa hoá khác nhau giữa các lớp đất mà hình thành quy luật dịch chuyển khác nhau.

Sự di chuyển của nước trong đới không bão hòa được mô tả bằng công thức Richards (1931). Khá nhiều mô hình đã được đề xuất để đưa ra lời giải cho công thức này. Mô hình của Van Genuchten (1980) hiện nay được ứng dụng phổ biến trong mô phỏng quá trình lan truyền ẩm. Có nhiều nghiên cứu nhằm xác định các thông số của mô hình này từ các thực nghiệm tại hiện trường hoặc trong phòng của Hardie and Almajmaie (2019); Pang et al. (2000); Silva Junior et al. (2020). Bên cạnh đó quá trình dịch chuyển của kim loại nặng trong đới không bão hòa là rất phức tạp. Các ion kim loại nặng thể hiện khả năng hấp phụ và hình thành phức kim loại dẫn đến tốc độ dịch chuyển bị khống chế (Holm et al., 1996; Li et al., 2006). Các nghiên cứu khác cũng mô phỏng và dự báo quá trình dịch chuyển của kim loại nặng trong đới không bão hòa, và cũng cho rằng mô hình hấp phụ 2 thành phần là phù hợp với quá trình này (dos Santos et al., 2013). Quá trình lan truyền của kim loại nặng này tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt phi tuyến Freundlich (1906) và mô hình hấp phụ 2 thành phần đẳng nhiệt phi tuyến không cân bằng đề xuất bởi Selim et al. (1987) và Van Genuchten and Wagenet (1989). Các trầm tích và các kim loại nặng được nghiên cứu đã thể hiện rõ thông qua các thí nghiệm thấm cột trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024).

Đối với các khu vực cồn cát ven biển với đặc điểm trầm tích chủ yếu là cát từ trên mặt đất xuống tới các tầng sâu dẫn đến khả năng dễ bị tổn thương do các chất ô nhiễm nói chung và các kim loại nặng nói riêng. Các hoạt động chôn lấp chất thải rắn không được kiểm soát kỹ ngay trên các cồn cát này. Khu vực nghiên cứu được lựa chọn là cồn cát ven biển xã Tiến Thành, huyện Phan Thiết, Bình Thuận nay là phường Tiến Thành, Bình Thuận. Tại khu vực này tồn tại bãi rác Bình Tú với quy mô 14,5ha và mới dừng hoạt động năm 2024. Bãi rác này nằm ngay trên tầng cát hạt mịn màu đỏ, vàng da cam có tuổi Holocen và bên dưới là tầng cát hạt nhỏ đến trung có tuổi Pleistocen. Nguy cơ ô nhiễm nói chung và kim loại nặng nói riêng tới nước dưới đất tại khu vực nghiên cứu là rất rõ ràng. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phần mềm FEFLOW mô phỏng quá trình dịch chuyển của 4 kim loại nặng (Pb, Ni, Cd, Zn) trong môi trường không bão hòa. Các thông số mô phỏng dòng chảy và lan truyền kim loại nặng được lấy từ các kết quả thí nghiệm hiện trường cũng như trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024).

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Cơ sở lý thuyết lan truyền ẩm trong đất không bão hòa

Chuyển động nước một chiều trong môi trường lỗ rỗng cứng bão hòa một phần được mô tả bằng một dạng biến đổi của phương trình Richards, sử dụng các giả định rằng pha khí đóng vai trò không đáng kể trong quá trình dòng chảy lỏng và dòng chảy nước do các gradient nhiệt có thể bị bỏ qua:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S \quad (1)$$

Trong đó: h là áp suất nước [L], θ là hàm lượng nước thể tích [$L^3 L^{-3}$], t là thời gian [T], x là tọa độ không gian [L] (dương hướng lên trên), S là áp lực hút [$L^3 L^{-3} T^{-1}$], α là góc giữa hướng dòng chảy và trục thẳng đứng (tức là, $\alpha = 0^\circ$ cho dòng chảy thẳng đứng, 90° cho dòng chảy ngang, và $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ cho dòng chảy nghiêng), và K là hàm hệ số thấm thủy lực chưa bão hòa [LT^{-1}] được cho bởi

$$K(h, x) = K_s(x) K_r(h, x) \quad (2)$$

Trong đó: K_r là hệ số thấm tương đối [-] và K_s là hệ số thấm bão hòa [LT^{-1}].

Mô hình lan truyền ẩm của Van Genuchten (1980), người đã sử dụng mô hình phân phối kích thước lỗ rỗng thống kê của Mualem (1976) để thu được một phương trình dự đoán cho hàm số hệ số thấm thủy nhiệt không bão hòa theo các tham số giữ nước của đất. Các biểu thức của Van Genuchten (1980) được cho bởi

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2$$

Trong đó: $m = 1 - 1/n$, $n > 1$

Các phương trình trên chứa năm tham số độc lập, trong đó: θ_r : Độ ẩm dư; θ_s : độ ẩm bão hòa; α : giá trị nghịch đảo của áp lực hút; n : hệ số hình dạng và K_s : hệ số thấm bão hòa. Tham số kết nối lỗ thông trong hàm số hệ số thấm thủy nhiệt đã được ước tính (Mualem, 1976) là khoảng 0.5 trung bình cho nhiều loại đất.

2.2 Cơ sở lý thuyết mô hình lan truyền kim loại nặng trong nước dưới đất hấp phụ 2 thành phần

Khái niệm về hấp phụ hai thành phần của Selim et al. (1987) và Van Genuchten and Wagenet (1989) xem xét các phản ứng hấp phụ - giải hấp phụ không cân bằng. Khái niệm hấp phụ 2 thành phần giả định rằng các phía hấp phụ có thể được chia thành hai phần:

$$s_k = s_k^e + s_k^k \quad k \in (1, n_s) \quad (4)$$

Phân loại 1 (s_k^e): Hấp phụ trên phần này được giả định là tức thì.

Phân loại 2 (s_k^k): Hấp phụ trên phần này được xem xét là phụ thuộc vào thời gian.

Trong trường hợp này, hấp phụ (s_k^e) trên một phần của các thành phần (các thành phần loại 1) được giả định là tức thì, trong khi hấp phụ (s_k^k) trên các thành phần còn lại (loại 2) được xem xét là phụ thuộc vào thời gian. Ở trạng thái cân bằng, chúng ta có:

$$s_k^e = f s_k \quad k \in (1, n_s) \quad (5)$$

$$s_k^k = (1 - f) s_k \quad k \in (1, n_s) \quad (6)$$

Ở đây, f là tỷ lệ của các thành phần trao đổi được giả định ở trạng thái cân bằng với pha dung dịch. Vì các thành phần hấp phụ loại 1 luôn ở trạng thái cân bằng, việc vi phân của phương trình ngay lập tức cho ra tốc độ hấp phụ cho các thành phần cân bằng loại 1.

$$\frac{\partial s_k^e}{\partial t} = f \frac{\partial s_k}{\partial t} \quad k \in (1, n_s) \quad (7)$$

Hấp phụ trên các thành phần không cân bằng loại 2 được giả định là quá trình tốc độ động học bậc nhất. Theo Toride et al. (1993), phương trình cân bằng khối lượng cho các thành phần loại 2 trong điều kiện có sự sản xuất và phân hủy được cho bởi:

$$\frac{\partial s_k^k}{\partial t} = \omega_k \left[(1 - f) \frac{k_{s,k} c_k^{\beta_k}}{1 + \eta_k c_k^{\beta_k}} - s_k^k \right] - (\mu_{s_k} + \mu_{i^s}) s_k^k + (1 - f) \gamma_{s,k} \quad k \in (1, n_s) \quad (8)$$

Trong đó: ω_k là tỷ lệ hằng số bậc 1 cho chất hoà tan k_{th} [T^{-1}]

2.3 Phương pháp nghiên cứu

2.3.1 Xây dựng mô hình dịch chuyển

Để mô phỏng dịch chuyển của kim loại nặng trong khu vực nghiên cứu, mô hình khái niệm hệ thống được thiết lập với các điều kiện biên và đầu vào như hình bên:

Mô hình số được thực hiện nhằm mô phỏng lại thí nghiệm trên phần mềm FEFLOW với phương pháp tính toán phần tử hữu hạn 1 chiều.

Thông số mô phỏng có:

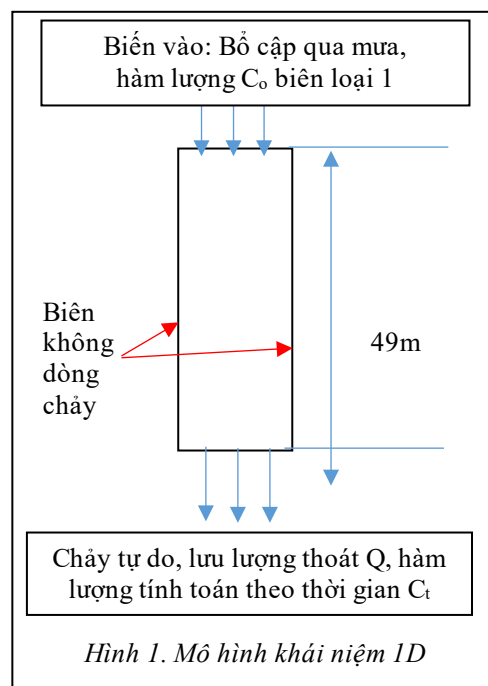
- Chiều dài đường thấm: 49m;
- Số lượng phần tử hữu hạn 3320 với 3320 element, 3321 node;
- Thời gian mô phỏng 20 năm;
- Bước thời gian nhỏ nhất $1E-5$ phút và lớn nhất là 0.05 ngày;
- Biên hàm lượng không đổi được gán tại phần tử đầu tiên trên cùng của mô hình. Biên này được giả định bằng với hàm lượng kim loại nặng trong nước rác tại thời điểm này.

Giá trị hàm lượng này được giả định không đổi trong suốt quá trình mô phỏng. Việc này đồng thời có ý nghĩa mô phỏng trong trường hợp bất lợi nhất là lượng kim loại nặng xâm nhập vào trầm tích không giới hạn.

Mô hình dòng chảy được sử dụng là mô hình Van Genuchten (1980) với 5 tham số tính toán.

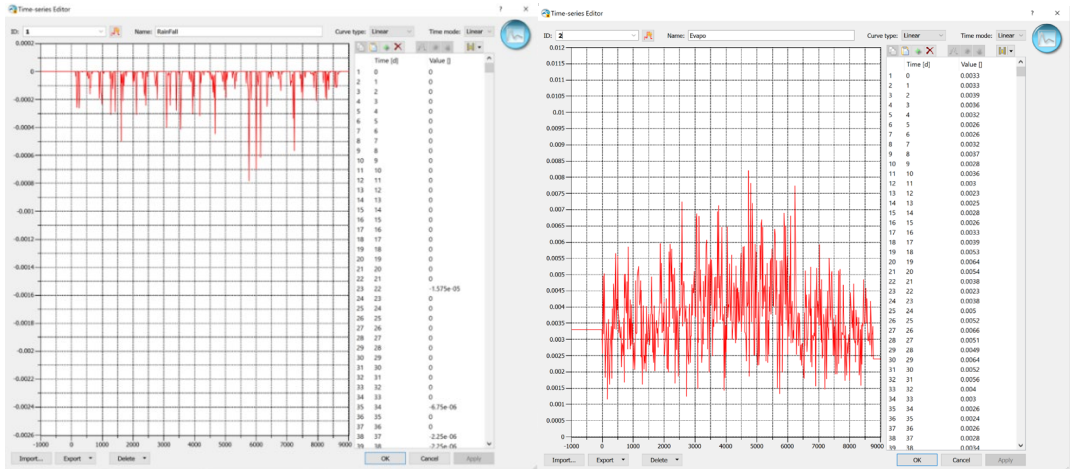
Mô hình dịch chuyển vật chất được sử dụng là mô hình hấp phụ 2 phía với trạng thái không cân bằng hoá học.

Lượng bổ cập: Lượng bổ cập được xác định theo lượng mưa và được gán vào mô hình với tỷ



lệ bổ cập là 15% lượng mưa thực tế.

Lượng bốc hơi thực tế cũng được đưa vào mô hình, tuy nhiên lượng bốc hơi tính toán được tính toán cuối cùng thông qua độ ẩm của element tính toán



Hình 2. Lượng bổ cập (bên trái) và bốc hơi (bên phải) được đưa vào mô hình tại biên trên

Thông số tính toán dòng chảy không bão hoà Van Genuchten (1980) được dự báo dựa trên số liệu thành phần hạt phân tích tại khu vực nghiên cứu với 5 tham số tính toán:

Water Flow Parameters						
Mat	Qr [-]	Qs [-]	Alpha [1/cm]	n [-]	Ks [cm/days]	l [-]
1	0.0481	0.3711	0.023	3.016	432	0.5

Hình 3. Tham số tính toán lan truyền ẩm của dòng chảy không bão hoà

Các thông số dịch chuyển được lấy dựa theo kết quả giải ngược từ các thí nghiệm thăm cột trong phòng thí nghiệm (Long et al., 2024). Các thông số dịch chuyển như sau:

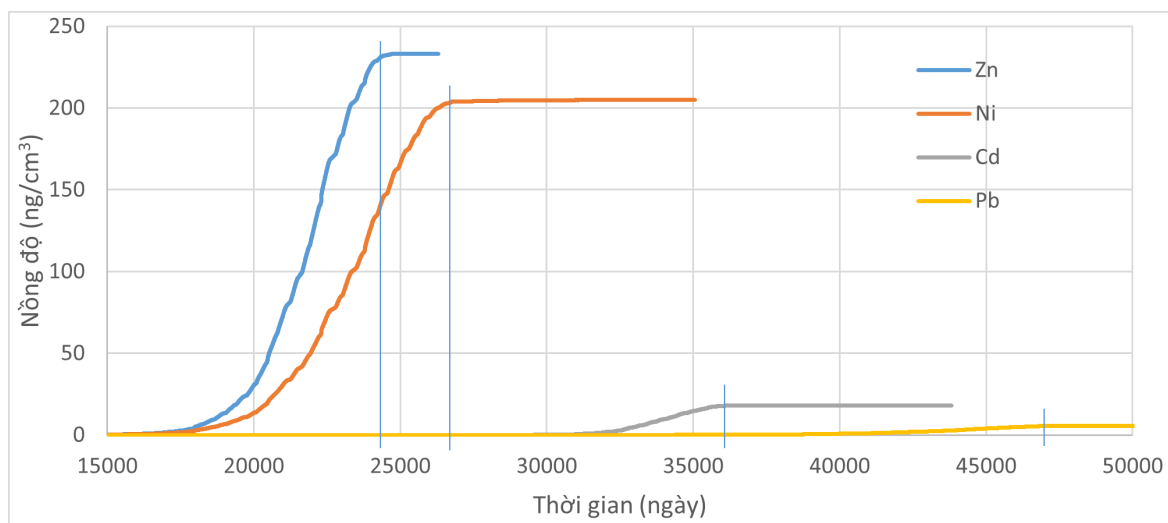
Bảng 1. Tổng hợp các thông số dịch chuyển kim loại nặng hoà tan, (với α : phân tán, D_L : hệ số phân tán động học, $Frac$ (f): tỷ lệ thành phần 1 và 2, K_d : hệ số phân bố, $Beta$: hệ số mũ Freundlich, ω : hệ số chuyển khối)

STT	Kim loại	α (cm)	D_L (cm ² /phút)	Frac	K_d (cm ³ /g)	Beta (hệ số Freundlich)	ω (1/Phút)
1	Cd	0,38	0,34	0,15	1,04	1,04	0,0054
2	Ni	0,34	0,35	0,35	0,39	1,07	0,0083
3	Zn	0,32	0,31	0,33	0,39	1,06	0,01
4	Pb	0,30	0,36	0,34	0,81	1,005	0,021

Các khai báo trong phần mềm FEFLOW khác về tính toán dòng chảy và mô phỏng dịch chuyển hấp phụ cũng được cài đặt theo các thông số bên trên. Thời gian tính toán mô phỏng được lặp lại sau mỗi chu kỳ 20 năm cho tới khi hàm lượng kim loại nặng tại phân tử nằm dưới cùng của mô hình đạt bằng với hàm lượng của phân tử đầu tiên trên cùng của mô hình mô phỏng.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả tính toán cuối cùng mô phỏng được lấy là biến động hàm lượng kim loại nặng tại phân tử nằm dưới cùng của cột mô phỏng. Kết quả tính toán hàm lượng được đưa ra trong đồ thị bên dưới.



Hình 4. Kết quả tính toán mô phỏng cho 4 kim loại nặng

Kết quả mô phỏng (Hình 4) cho thấy có sự khác biệt rõ rệt về thời gian dịch chuyển của các kim loại nặng từ bề mặt đất xuống tầng chứa nước ngầm. Cụ thể, Zn có thời gian ngắn nhất (67 năm), tiếp đến là Ni (73 năm), Cd (98 năm) và lâu nhất là Pb (130 năm). Sự chênh lệch này phản ánh bản chất hóa học cũng như đặc tính hấp phụ khác nhau của từng nguyên tố.

Với Zn và Ni, hệ số phân bố K_d thu được khá thấp ($0,39 \text{ cm}^3/\text{g}$), cho thấy khả năng hấp phụ yếu, dẫn đến các ion tồn tại chủ yếu ở dạng tự do trong dung dịch và dễ dàng dịch chuyển theo dòng thấm. Trong khi đó, Cd có hệ số K_d cao hơn ($1,04 \text{ cm}^3/\text{g}$) và hệ số mũ Freundlich β lớn hơn 1, phản ánh xu hướng bị giữ lại nhiều hơn trên bề mặt hạt khoáng, từ đó làm giảm tốc độ di chuyển. Pb mặc dù có K_d trung bình ($0,81 \text{ cm}^3/\text{g}$), song lại có hệ số chuyển khối động học ω cao nhất ($0,021 \text{ phút}^{-1}$), chứng tỏ quá trình hấp phụ diễn ra mạnh và nhanh, làm cho tốc độ dịch chuyển tổng thể chậm nhất trong bốn kim loại được nghiên cứu.

Ngoài ra, sự khác biệt này còn có thể lý giải bởi áp lực bề mặt khác nhau của các kim loại. Zn và Ni có tính linh động cao trong môi trường cát ven biển, ít tạo phức bền, trong khi Cd và đặc biệt là Pb có khả năng gắn kết mạnh với khoáng vật sét, oxit Fe-Mn, dẫn tới mức độ giữ lại cao hơn. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây (dos Santos et al., 2013; Holm et al., 1996; Li et al., 2006), vốn cũng chỉ ra rằng Zn thường có tính linh động lớn hơn, còn Pb là nguyên tố khó dịch chuyển nhất trong điều kiện đất cát ven biển.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng thành công mô hình phân tử hữu hạn kết hợp mô hình hấp phụ hai thành phần để mô phỏng quá trình dịch chuyển nước và kim loại nặng trong đới không bão hòa. Kết quả cho thấy sự khác biệt đáng kể về tốc độ dịch chuyển của các kim loại: Zn có thời gian di chuyển nhanh nhất (67 năm), tiếp đến là Ni (73 năm), Cd (98 năm) và chậm nhất là Pb (130 năm). Điều này phản ánh đặc tính hấp phụ khác nhau, trong đó Zn và Ni ít bị giữ lại, trong khi Cd và đặc biệt Pb có ái lực mạnh với bề mặt khoáng.

Mô hình cũng cho thấy tầng chứa nước ngầm bên dưới vẫn có thể an toàn trong ít nhất 10-20 năm, tuy nhiên về lâu dài nguy cơ ô nhiễm vẫn hiện hữu nếu không có các biện pháp bảo vệ. Do đó, việc quản lý, xử lý và cách ly các bãi chôn lấp chất thải trên cồn cát ven biển cần được quan tâm nghiêm ngặt để giảm thiểu rủi ro lan truyền ô nhiễm xuống tầng chứa nước.

Nghiên cứu này được xây dựng dựa trên giả định nồng độ kim loại nặng tại bãi rác không đổi theo thời gian - đây là trường hợp bất lợi nhất. Trong thực tế, hàm lượng có thể giảm dần sau khi bãi rác ngừng hoạt động, dẫn đến nguy cơ thấp hơn. Các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng sang mô hình 2D/3D, kết hợp thêm các quá trình địa hóa (tạo phức, kết tủa, phân hủy hữu cơ) nhằm nâng cao độ chính xác của dự báo.

Lời cảm ơn

Báo cáo được hoàn thành dưới sự hỗ trợ của Đề tài khoa học mã số: ĐTĐLCN.86/21 với tên: “Nghiên cứu xác định một số thông số đặc trưng cho quá trình dịch chuyển vật chất trong đới bão hòa và không bão hòa nước để dự báo xâm nhập của một số kim loại nặng từ nguồn ô nhiễm vào các tầng chứa nước có thành tạo bờ rời”.

Tài liệu tham khảo

- dos Santos, D. R., Cambier, P., Mallmann, F. J. K., Labanowski, J., Lamy, I., Tessier, D., & van Oort, F. (2013). Prospective modeling with Hydrus-2D of 50 years Zn and Pb movements in low and moderately metal-contaminated agricultural soils. *Journal of contaminant hydrology*, 145, 54-66.
- Freundlich, H. (1906). Over the adsorption in solution. *J. Phys. Chem*, 57(385471), 1100-1107.
- Hardie, M., & Almajmaie, A. (2019). Measuring and estimating the hydrological properties of a soil crust. *Journal of Hydrology*, 574, 12-22.
- Holm, P., Andersen, B., & Christensen, T. (1996). Cadmium solubility in aerobic soils. *Soil science society of America Journal*, 60(3), 775-780.
- Li, H., Wang, J., Teng, Y., & Wang, Z. (2006). Study on the mechanism of transport of heavy metals in soil in western suburb of Beijing. *Chinese Journal of Geochemistry*, 25(2), 173-177.
- Long, T. V., Nhận, Đ. Đ., Lâm, N. V., Bằng, Đ. Đ., & Hiền, V. T. (2024). Xác định thông số dịch chuyển kim loại nặng từ thí nghiệm cột thấm không bão hòa bằng phương pháp mô hình số. Hội nghị Khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2024), Hà Nội.
- Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12(3), 513-522.
- Pang, L., Close, M. E., Watt, J. P., & Vincent, K. W. (2000). Simulation of picloram, atrazine, and simazine leaching through two New Zealand soils and into groundwater using HYDRUS-2D. *Journal of contaminant hydrology*, 44(1), 19-46.
- Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *physics*, 1(5), 318-333.
- Selim, H., Schulin, R., & Flühler, H. (1987). Transport and ion exchange of calcium and magnesium in an aggregated soil. *Soil science society of America Journal*, 51(4), 876-884.
- Silva Junior, J. J. d., Colombo, A., Oliveira, G. C., Silva, B. M., & Eugênio, J. E. J. (2020). Estimation of tropical soils' hydraulic properties with inverse method and tension infiltrometer field data. *Revista Ambiente & Água*, 15.
- Toride, N., Leij, F. J., & van Genuchten, M. T. (1993). A comprehensive set of analytical solutions for nonequilibrium solute transport with first - order decay and zero - order production. *Water Resources Research*, 29(7), 2167-2182.
- Van Genuchten, M. T. (1980). A closed - form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America Journal*, 44(5), 892-898.
- Van Genuchten, M. T., & Wagenet, R. (1989). Two - site/two - region models for pesticide transport and degradation: Theoretical development and analytical solutions. *Soil science society of America Journal*, 53(5), 1303-1310.

FEFLOW application simulates moisture propagation and heavy metal transport in unsaturated zone

Tran Vu Long^{1,*}, Vu Thu Hien¹

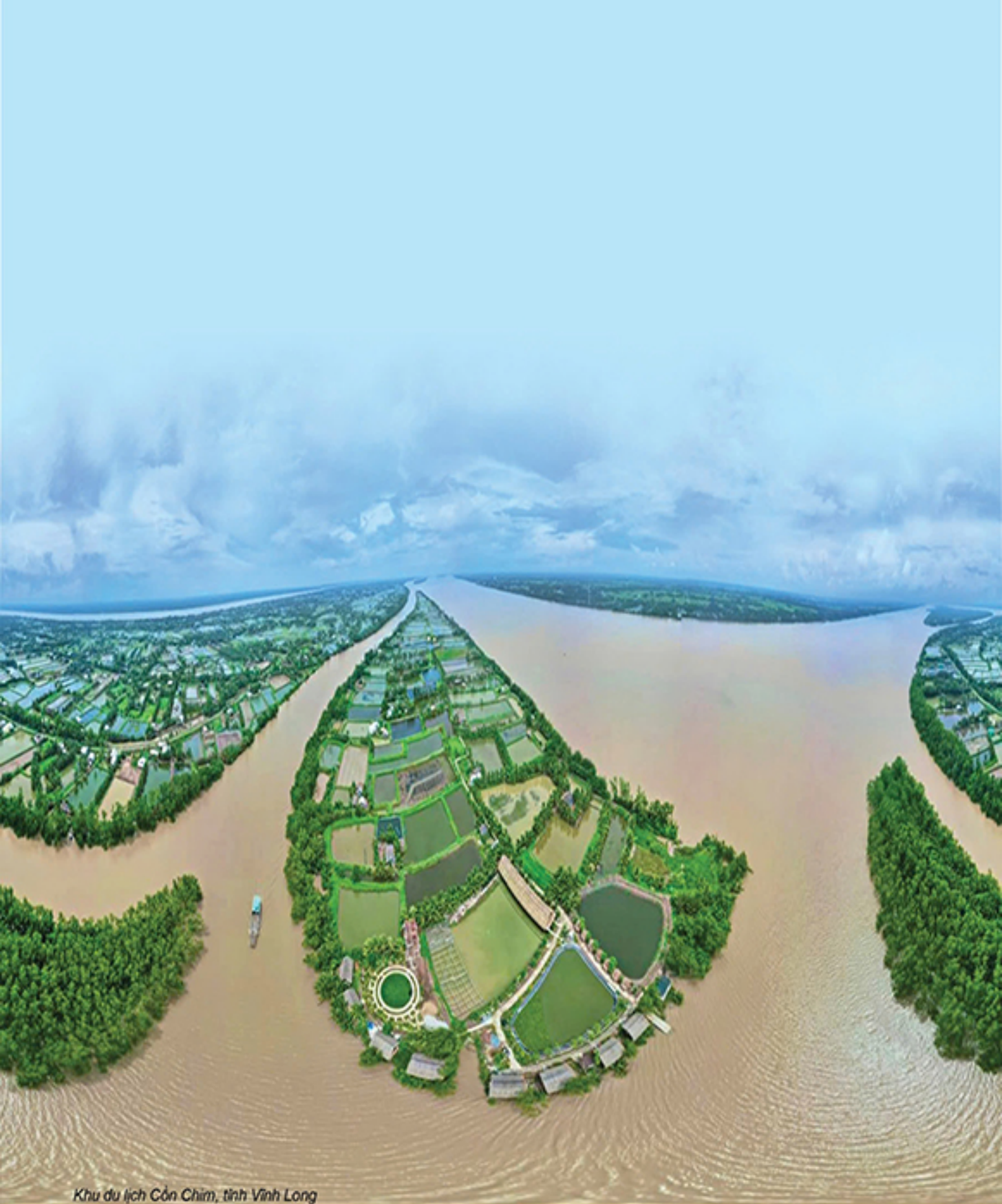
¹Hanoi University of Mining and Geolgy

**Corresponding author: Email: tranvulong@humg.edu.vn*

Abstract

In practice, pollutants, particularly heavy metals, are commonly released from sources such as solid waste and wastewater, and typically accumulate at the ground surface. To infiltrate into aquifers, these pollutants must migrate through the unsaturated zone, where their transport is closely linked to moisture movement. Moisture transport in unsaturated soils is described by the nonlinear Richards equation. This study applies a finite element model (FEM) to simulate both moisture movement and the transport of heavy metals in the unsaturated zone of the coastal sand dunes in Tiến Thành Commune, Phan Thiết City, Bình Thuận Province. The model was constructed in one dimension (1D) to predict the migration rates of heavy metals from the landfill down to the groundwater table. Simulation results indicate that the migration rates of heavy metals depend not only on moisture dynamics but also on their adsorption characteristics with sediments. Among the studied metals, Zn migrates the fastest, requiring approximately 67 years to reach the groundwater. In contrast, Ni, Pb, and Cd migrate more slowly, taking between 70 and 130 years to infiltrate into the aquifer.

Keywords: Heavy metal, moisture propagation, Sorption model, Coastal sand dune.



Khu du lịch Côn Chim, tỉnh Vĩnh Long

ISBN: 978-604-76-3233-6



9 786047 632336

SÁCH KHÔNG BÁN