

DOI: 10.32347/2786-7269.2026.16.77-86

УДК: 711.4:725.2:656.1

д.арх., професор Дурманов В.Ю.,
volodymyr.durmanov@ukd.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2296-2310,
ЗВО «Університет Короля Данила», м. Івано-Франківськ

ІНФРАСТРУКТУРНО ОРІЄНТОВАНЕ ПЛАНУВАННЯ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ У ПРИМІСЬКІЙ ЗОНІ МІСТА (АРХІТЕКТУРНО-ПРОСТОРОВІ ТА ТРАНСПОРТНІ ПАРАМЕТРИ РОЗВИТКУ)

Присвячено формуванню параметричної рамки інфраструктурно орієнтованого планування житлових комплексів у приміській зоні міста. Розглянуто взаємозв'язок архітектурно-планувальних рішень із інженерною, соціальною та транспортною інфраструктурою як ключовими факторами просторового розвитку. Обґрунтовано перехід від підходу, орієнтованого на мобільність, до підходу, заснованого на показниках доступності до робочих місць і сервісів. Визначено параметри щільності, змішаності функцій, мережовості вуличної структури та транзитної інтеграції як базові індикатори ефективності приміських житлових систем. Показано роль соціальної інфраструктури й локальних центрів як елементів зниження маятникової міграції та підвищення якості життя. Запропоновано інтегральну модель планування, що поєднує інфраструктурну спроможність, архітектурну морфологію та транспортні параметри у контексті українських нормативних вимог і принципів сталого розвитку.

Ключові слова: приміська зона; інфраструктурно орієнтоване планування; щільність забудови; параметрична архітектура; просторовий розвиток; громадський транспорт; соціальна інфраструктура; сталий розвиток; житлові комплекси.

Вступ. Приміська зона міста є простором найбільш динамічних трансформацій. У ній стикаються потреби житлової експансії, логіка ринку землі, міжмуніципальні потоки маятникової міграції та обмеження пропускнуої спроможності інфраструктури. За відсутності синхронізації інвестицій у мережі та послуги, житлова забудова формує «інфраструктурний борг», в умовах якого збільшуються питомі витрати на водопостачання, водовідведення, електропостачання, утримання дорожньої мережі, а також вартість забезпечення соціальних сервісів. Такі закономірності емпірично фіксуються для низько щільних моделей розселення, де зростає вартість публічних послуг на душу населення та погіршується ефективність їх надання.

Наукова актуальність нашого дослідження визначається трьома чинниками. По-перше, сучасні підходи просторового розвитку дедалі більше зміщують фокус із «мобільності» (кількості поїздок і швидкості руху) на «доступність» (можливість дістатися до робочих місць, сервісів і соціальної інфраструктури прийнятним часом/вартістю), що вимагає нової системи показників і моделей оцінювання. По-друге, дослідження середовища та поведінки підтверджують статистично значущий (хоча часто «помірний») вплив параметрів забудови на транспортний попит: щільність, різноманітність функцій і якість дизайну вулиць формують модальний вибір і величину автомобільних поїздок. По-третє, для України потрібна адаптація цих підходів до національного інституційного й нормативного поля: територіальне планування та забудова регламентуються законом і системою ДБН, що задають рамки для архітектурно-планувальних, транспортних і інженерних рішень.

Мета статті – сформувати параметричну рамку інфраструктурно орієнтованого планування житлових комплексів у приміській зоні міста, що поєднує інженерні, транспортні, соціальні та виробничі вимоги з архітектурно-просторовими рішеннями й моделями мобільності.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних дослідженнях просторового розвитку приміських територій значна увага приділяється інтеграції соціальної, інженерної та транспортної інфраструктури як бази сталого розвитку територіальних громад. У працях Л. Бенівської соціальна інфраструктура розглядається як система інтересів стейкхолдерів, що визначає доступність послуг і якість життя, а відтак безпосередньо впливає на просторові рішення та функціонування житлових територій [1]. Дослідження А. Бричанського, О. Бондаря та Д. Бричанського зосереджені на виборі оптимальних типів забудови приміських зон, де параметри щільності та морфології розглядаються як чинники інфраструктурної ефективності й транспортної збалансованості [2]. У роботах К. Мамонова, В. Гоя та В. Харіва підкреслюється значення геоінформаційних технологій для моніторингу використання земель житлової та громадської забудови, що дозволяє оцінювати ефективність просторових рішень на регіональному рівні [4].

У міжнародному науковому дискурсі питання взаємодії просторового розвитку й транспорту розглядається у межах концепції доступності та транзитно орієнтованого розвитку. Л. Бертоліні обґрунтовує аналітичні моделі зв'язку між структурою забудови та функціонуванням громадського транспорту, а спільні дослідження з Ф. ле Клерком і Л. Капоеном формують концептуальну рамку сталої доступності як інтеграції транспортного та земельного планування [5; 6]. Р. Серв'єро і К. Кокельман довели статистично значущий вплив щільності, функціональної різноманітності та дизайну вулиць на транспортний попит і

модальний вибір, що стало підґрунтям для подальших емпіричних досліджень [7]. Роботи К. Геурса і Б. ван Ві пропонують методологію оцінювання стратегій землекористування та транспорту через показники доступності [8], тоді як Е. Папа і Л. Бертоліні аналізують взаємозв'язок доступності та транзитно орієнтованого розвитку у європейських метрополіях [9]. Узагальнення цих підходів свідчить про необхідність інтегрованого планування приміських територій, у якому архітектурно-просторові параметри, інфраструктурні можливості та транспортні моделі розглядаються як взаємопов'язані складові єдиної системи просторового розвитку.

Виклад основного матеріалу. При формулюванні інтегральної моделі в якій інфраструктурні компоненти виступають не «обслуговуванням забудови», а визначальними обмеженнями й драйверами архітектурно-просторових і транспортних рішень, нами використано декілька методологічних умов. По-перше, ми не брали розрахунки конкретного міста/агломерації. По-друге, ми не формували бюджетних обмежень. По-третє, ми не визначали часові рамки реалізації. Відповідно, всі рекомендації сформовано для випадку «без специфічних обмежень», з акцентом на переносимість рішень і відповідність українським ДБН та міжнародним принципам сталості.

Далі розглянемо інфраструктурні вимоги, які є ключовою передумовою планування. Для приміської житлової забудови ключовою є логіка «спроможність → етапність → підключення», а не «збудова → постфактум мережі». Пояснення економіки просте: розосереджені (низькощільні) території потребують довших мереж на одиницю населення, що підвищує капітальні та експлуатаційні витрати (водопровід, каналізація, електрика, дороги, послуги). Це означає, що параметри щільності та морфології забудови слід розглядати як «інфраструктурні рішення» – вони прямо впливають на довжину мереж, втрати в системах, потребу в насосних станціях/резервуванні, а також на доступність аварійного ремонту.

Саме тому, на рівні проєкту житлового комплексу інженерні вимоги доцільно структурувати у п'ять груп:

1. водопостачання і водовідведення (баланс добового/пікового споживання, резервування, локальні вузли обліку);
2. зливова/дощова інфраструктура (керування піками опадів, інфільтрація/затримання стоку в межах ділянки як елемент адаптації);
3. енергопостачання і теплозабезпечення (потужність приєднання, можливість децентралізації/мікромереж, резервні режими);
4. поводження з відходами (логістика збору, майданчики, маршрути спецтранспорту);

5. цифрова інфраструктура (зв'язок як базова умова дистанційної роботи/послуг, що зменшує частину поїздок). Потреба розглядати інфраструктуру як «мережу взаємозалежностей» концептуально узгоджується з підходом міської стійкості: інфраструктура повинна не лише «працювати у нормі», а й зберігати/відновлювати функції, адаптуватися та за потреби трансформуватися.

В українському нормативному полі проектування інженерних систем регламентується системою ДБН, зокрема ДБН В.2.5-64:2012 для внутрішніх систем водопостачання/каналізації будівель, що є базовою частиною узгодження інженерних рішень у житлових проєктах [3].

Соціальна інфраструктура в приміській зоні виконує роль «якорів доступності». Так, школи, дошкільні заклади, ПМСД, сервіси щоденного попиту, громадські простори знижують потребу в щоденних дальніх поїздках до міського ядра й зменшують транспортні піки. Рамка «15-хвилинної доступності» концептуально задає ціль – пов'язати ресурсне планування (земля під соціальні об'єкти, резерви потужностей) з пішохідно-велосипедною і транзитною мережею, щоб повсякденні потреби закривалися локально.

Для архітектурно-планувальних рішень це означає, що соціальна інфраструктура має вбудовуватися в структуру «районних/квартальних центрів» із певним радіусом обслуговування, а не розміщуватися випадково на «залишкових» ділянках [1, с. 15]. У правовому та нормативному контексті України вимога узгодженості планування й забудови впливає з базових засад містобудівної діяльності та планувальних ДБН.

Для приміської зони типовою є диспропорція «житло без робочих місць», що стимулює маятникові поїздки. Інфраструктурно орієнтоване планування трактує робочі місця як елемент середовища, який впливає на транспортний попит не менше, ніж дороги. Логіка доступності вимагає планувати баланс «житло–робота–сервіси» через розміщення офісів малої/середньої площі, коворкінгів, майстерень, сервісних першими поверхами, локальної логістики [5; 6; 8]. Для України цей блок особливо важливий у приміських громадах, де виробнича база може бути обмеженою, а «спальні» сценарії підвищують навантаження на міжмуніципальні коридори.

Архітектурно-планувальні рішення сучасних житлових утворень у приміських зонах дедалі частіше розглядаються як інфраструктурні регулятори, здатні визначати не лише морфологію забудови, а й параметри функціонування транспортних, інженерних і соціальних систем. У науковому дискурсі вплив щільності та інтенсивності забудови на транспортні процеси й сталий розвиток інтерпретується через скорочення середніх відстаней між функціональними зонами, підвищення життєздатності громадського транспорту та формування

умов для пішохідної і велосипедної мобільності за умови належної організації простору. Для приміських територій принциповим є не досягнення максимально можливої щільності, а встановлення параметрів, узгоджених із рівнем транзитного обслуговування, інженерною спроможністю мереж і потенціалом соціальної інфраструктури. Практика параметризації забудови передбачає використання показників загальної та чистої щільності, коефіцієнта інтенсивності використання території, а також частки земель, відведених під вулично-дорожню мережу й публічні простори. Міжнародні рекомендації з формування сталих районів підкреслюють, що достатній рівень щільності населення у поєднанні зі змішаним землекористуванням і розвиненою мережею вулиць створює базові передумови для ефективного функціонування сервісів і громадського транспорту, при цьому порогові значення щільності мають корелювати з типом і частотою транзитного обслуговування.

У межах інфраструктурно орієнтованого підходу доцільно розглядати типологію приміської забудови не стільки за поверховістю, скільки за морфологічними кластерами, які формують прогнозовані інфраструктурні наслідки [2]. Середньоповерхова квартальна структура забезпечує відносно високу ефективність інженерних мереж, сприятливі умови для активної мобільності та потенціал для розвитку сервісів на перших поверхах будівель. Рядова або таунхаусна забудова є прийнятною для периферійних зон за умови інтеграції з громадським транспортом і наявності локальних центрів обслуговування, водночас за низької змішаності функцій вона підсилює автомобільну залежність. Концентрація висотних домінант у вузлах громадського транспорту може підвищувати інтенсивність використання території, однак потребує регулювання автомобільної генерації, паркувальної політики та високої якості пішохідного середовища. У національному нормативному полі параметри житлової забудови визначаються чинними будівельними нормами щодо проєктування житлових будинків, що задають вимоги до висотності, доступності, безпеки та інклюзивності середовища.

Важливим чинником транспортної поведінки є не лише щільність забудови, а й структура та якість вуличної мережі. Сучасні підходи до планування акцентують на переході від ієрархічних, замкнених схем до мережевих структур із дрібнішими кварталами, альтернативними маршрутами руху, безпечними пішохідними перетинами та інтегрованими маршрутами громадського транспорту. Така конфігурація підвищує доступність транзиту і сприяє диверсифікації мобільності. Нормативні вимоги до проєктування вулиць і доріг у населених пунктах встановлюють рамки категоризації вулиць, організації руху та елементів інфраструктури, що мають враховуватися під час формування приміських житлових комплексів.

У сучасному містобудівному дискурсі відбувається зміщення акценту від управління транспортними потоками до управління доступністю. Планування територій орієнтується на зменшення потреби в автомобільних поїздках шляхом формування компактної структури міста, інтеграції функцій і розвитку громадського транспорту. Для приміських зон це означає визначення цільових параметрів розвитку через показники доступності до робочих місць, соціальних сервісів і транзитних вузлів. Підхід транзитно орієнтованого розвитку передбачає концентрацію житлових і громадських функцій у радіусі пішохідної доступності до станцій або зупинок, що підвищує ефективність транспортної системи і формує передумови для сталих форм мобільності. Водночас просторове концентрування населення та робочих місць уздовж транспортних коридорів має супроводжуватися високою якістю пішохідного середовища та обмеженням домінування автомобільного руху.

Для проєктування і моніторингу приміських житлових систем доцільно використовувати комплекс параметрів, що включає радіуси пішохідної доступності до зупинок громадського транспорту, порогові значення щільності залежно від типу транзитного сервісу, рівень змішаності функцій, мережевість вуличної структури, політику паркування та інтегральні показники доступності до ключових сервісів [4]. Узгодження частоти руху транспорту зі щільністю забудови є необхідною умовою запобігання формуванню автомобільної залежності. Для сценарного планування розвитку приміських територій доцільно застосовувати поєднання швидких оціночних моделей генерації поїздок, моделей попиту, чутливих до землекористування, та поведінкових моделей активності населення, що дозволяють оцінювати ефективність різних політик і сценаріїв розвитку.

Стійкість приміських житлових систем слід розглядати як здатність інфраструктури й просторової структури адаптуватися до змін і підтримувати функціональність у кризових умовах. Це передбачає резервування інженерних мереж, багатоконтурність систем, можливість трансформації функцій будівель і публічних просторів. У практичному вимірі важливим є впровадження гнучких сценаріїв розвитку, що враховують пікові навантаження, екстремальні кліматичні події та зміни транспортної поведінки [7]. Диверсифікація режимів мобільності, розвиток пішохідної та велосипедної інфраструктури разом із громадським транспортом формують основу транспортної стійкості приміських територій.

Інфраструктурно орієнтоване планування приміських житлових комплексів має ґрунтуватися на поєднанні нормативної узгодженості, фазування інфраструктурних інвестицій і поліцентричної організації простору. Початковим етапом виступає аудит спроможності інженерних і соціальних

систем, визначення вузьких місць і планування їх посилення. Введення житлових черг доцільно синхронізувати з будівництвом ключових об'єктів інфраструктури та запуском або підсиленням маршрутів громадського транспорту [9]. Формування локальних центрів повсякденних сервісів і транзитних вузлів із підвищеною інтенсивністю використання території сприяє зниженню маятникової міграції та розвитку активної мобільності. Параметри щільності повинні визначатися як похідні від бажаного рівня транспортного обслуговування та інженерної спроможності, а управління транспортним попитом має включати політику паркування, пріоритет пішохідних і велосипедних зв'язків та інтеграцію громадського транспорту.

Висновки. Таким чином, інфраструктурно орієнтоване планування приміських житлових територій є результатом інтеграції інженерних, архітектурно-просторових і транспортних параметрів, що визначають доступність, функціональну стійкість і якість середовища. Для українського контексту особливого значення набуває узгодженість із чинним законодавством і будівельними нормами, поетапність реалізації інфраструктури та застосування доступність-орієнтованих показників як інструментів моніторингу. Найбільш ефективним є гібридний підхід, що поєднує принципи транзитно орієнтованого розвитку, індикатори доступності, поетапне нарощування інфраструктури та формування локальних центрів повсякденних сервісів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на емпіричну калібрацію порогових параметрів щільності та змішаності функцій для українських приміських територій, розроблення адаптованих індикаторів доступності для містобудівної документації та оцінювання повного життєвого циклу інфраструктурних витрат для різних типологій забудови з урахуванням вимог стійкості та адаптивності.

Подальший напрямок дослідження. Подальші дослідження доцільно спрямувати на емпіричну перевірку порогових значень щільності та функціональної змішаності для приміських територій українських міст з урахуванням реальних параметрів громадського транспорту та інженерної інфраструктури. Перспективним є розроблення національно адаптованої системи показників доступності для містобудівної документації, а також моделювання повного життєвого циклу інфраструктурних витрат для різних типологій приміської забудови. Особливої уваги потребує інтеграція підходів стійкості та кліматичної адаптації у проектування інженерних і транспортних систем житлових комплексів.

Бібліографічний список

1. Беновська Л. Соціальна інфраструктура територіальних громад: інтереси стейкхолдерів. *Галицький економічний вісник*. 2021. № 2 (69). С. 14-23. URL: <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/69/950.pdf>

2. Бричанський А.О., Бондар О.В., Бричанський Д.О. Модель вибору оптимального типу забудовки території приміської зони. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/viewFile/17107/14276>
3. ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво». URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200385397578270089?doc_type=2
4. Мамонов К., Гой В.В., Харів В.В. ГІС у системі геопросторового моніторингу використання земель житлової та громадської забудови регіонів. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2025. Вип. 213. С. 92-100. URL: https://www.researchgate.net/publication/397193625_GIS_u_sistemi_geoprostorovogo_monitoring_u_vikoristanna_zemel_zitlovoi_ta_gromadskoi_zabudovi_reghioniv
5. Bertolini L. Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands. *Planning, Practice, and Research*. 1999. Vol. 14(2). P. 199–210. DOI: 10.1080/02697459915724.
6. Bertolini L., Clercq L.F., Kapoen L. Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. *Transport Policy*. 2005. Vol. 12(3). P. 207–220. DOI: 10.1016/j.tranpol.2005.01.006.
7. Cervero R. Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 1997. Vol. 2(3). P. 199–219. DOI: 10.1016/S1361-9209(97)00009-6.
8. Geurs K.T., Wee van B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*. 2004. Vol. 12(2). P. 127–140. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005.
9. Papa E., Bertolini L. Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*. 2015. Vol. 47. P. 70–83. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003.

Doctor of Architecture, Professor **Durmanov Volodymyr**,
King Danylo University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

INFRASTRUCTURE-ORIENTED PLANNING OF RESIDENTIAL COMPLEXES IN THE SUBURBAN ZONE OF A CITY (ARCHITECTURAL- SPATIAL AND TRANSPORT DEVELOPMENT PARAMETERS)

The suburban zone of a city represents one of the most dynamic spatial environments, where residential expansion, land market mechanisms, commuting flows, and infrastructure capacity constraints interact. This article develops a parametric framework for infrastructure-oriented planning of residential complexes in suburban areas, emphasizing the interdependence between architectural and spatial decisions and the capacity of engineering, transport, and social systems. The research is grounded in contemporary urban planning theory, which increasingly shifts attention from mobility-based indicators to accessibility-oriented metrics that

evaluate residents' ability to reach workplaces, services, and social infrastructure within acceptable time and cost thresholds.

The study conceptualizes infrastructure not as a secondary service component but as a primary determinant shaping the morphology, density, and functional structure of residential development. It argues that dispersed low-density patterns increase the per capita cost of infrastructure provision and reduce service efficiency, creating long-term “infrastructure debt.” Therefore, parameters such as density, functional diversity, and street network design should be considered infrastructural decisions that directly influence network length, operational losses, and maintenance requirements. The proposed framework integrates five key infrastructure groups: water supply and drainage, stormwater management, energy systems, waste management, and digital infrastructure. Social infrastructure is interpreted as an “anchor of accessibility” that reduces long-distance commuting by embedding daily services within walkable catchment areas.

The article also highlights the role of transit-oriented development in structuring suburban growth, emphasizing the importance of coordinated density thresholds, pedestrian accessibility, and public transport frequency. Street network connectivity, mixed-use development, and parking management policies are identified as critical parameters for shaping travel behavior and reducing car dependency. The research adopts a transferable approach, not limited to a specific city, and aligns its recommendations with Ukrainian planning regulations and international sustainability principles.

The findings suggest that effective suburban planning requires an integrated model combining infrastructure capacity, phased implementation, and accessibility-based performance indicators. Such an approach enhances functional resilience, reduces infrastructure costs, and supports sustainable mobility patterns. The proposed framework provides a methodological basis for further empirical calibration and for adapting accessibility-oriented planning tools to national planning systems.

Keywords: suburban area; infrastructure-oriented planning; development density; parametric architecture; spatial development; public transport; social infrastructure; sustainable development; residential complexes.

REFERENCES

1. Benovska, L. (2021). Sotsialna infrastruktura terytorialnykh hromad: Interesy steikholderiv [Social infrastructure of territorial communities: Stakeholder interests]. *Halytskyi ekonomichnyi visnyk*, 2(69), 14–23. Access Mode: <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/69/950.pdf> {in Ukrainian}.
2. Brykhanskyi, A.O., Bondar, O.V., & Brykhanskyi, D.O. (2023). Model vyboru optymalnoho typu zabudovky terytorii prymiskoi zony [Model for selecting

the optimal type of development in suburban areas]. Access Mode: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/viewFile/17107/14276> {in Ukrainian}.

3. Derzhavni budivelni normy Ukrainy. (2012). *DBN V.2.5-64:2012 Vnutrishnii vodoprovod ta kanalizatsiia. Chastyna I: Proektuvannia. Chastyna II: Budivnytstvo* [State building norms of Ukraine DBN V.2.5-64:2012 Internal water supply and sewerage. Part I: Design. Part II: Construction]. Access Mode: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200385397578270089?doc_type=2 {in Ukrainian}.

4. Mamonov, K., Hoi, V.V., & Khariv, V.V. (2025). GIS u systemi heoprostorovoho monitorynhu vykorystannia zemel zhytlovoi ta hromadskoi zabudovy rehioniv [GIS in the geospatial monitoring system of residential and public land use in regions]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, 213, 92–100. Access Mode: https://www.researchgate.net/publication/397193625_GIS_u_sistemi_geoprostorovogo_monitoringu_vikoristanna_zemel_zitlovoi_ta_gromadskoi_zabudovi_regioniv {in Ukrainian}.

5. Bertolini, L. (1999). Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands. *Planning Practice & Research*, 14(2), 199–210. Access Mode: <https://doi.org/10.1080/02697459915724> {in English}.

6. Bertolini, L., Le Clercq, F., & Kapoen, L. (2005). Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. *Transport Policy*, 12(3), 207–220. Access Mode: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.006>

7. Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219. Access Mode: [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6) {in English}.

8. Geurs, K.T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. Access Mode: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005> {in English}.

9. Papa, E., & Bertolini, L. (2015). Accessibility and transit-oriented development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 47, 70–83. Access Mode: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003> {in English}.