

## СТРУКТУРНА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА ТИПІЗАЦІЯ ВПЛИВІВ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТРАНСПОРТНІ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННІ СИСТЕМИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.В. Шевчуком)

Розглянуто загальний характер впливу геологічного середовища та небезпечних геологічних процесів на транспортні природно-техногенні системи. У відповідності до природи впливу геологічного середовища на ці системи та механізму дії геологічних процесів виділено фізичний, фізико-хімічний, та хімічний типи впливів (з відповідними класами), пов'язані із властивостями геологічного середовища та процесами взаємодії різних компонентів природно-техногенних систем. Головними факторами та агентами, що викликають впливи різної природи, слід вважати гравітаційний, гідродинамічний, температурний, фізико-хімічний та біологічний. Визначено екзогенні процеси впливу на транспортні споруди, підпорядковані дії цих факторів. Охарактеризовано головні реологічні моделі геологічних середовищ, що є основою фізико-геологічного, математичного та інформаційного моделювання стану та поведінки транспортних природно-техногенних систем.

The general features of geological environment and hazardous geological processes influence on transport nature-technical systems has been described. According to the nature of this influence the physical, physical-chemical and chemical types and classes are defined. They are related to the behavior of the geological environment and processes of the interaction of different components of nature-technical systems. Gravitational, hydrodynamical, thermal, physical-chemical and biological factors and agents are the main factors caused the different influences. Exogenic processes influenced on the transport systems are defined. The main rheological models of the geological environments has been characterized. They are the base of the physical-geological, mathematical and information modeling of the state and behavior of the transport nature-technical systems.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Україна як незалежна держава має високий геополітичний потенціал із значними перспективами переходу до тривалого сталого розвитку. Однією із основних передумов цього розвитку та визначення стану природно-соціальної системи держави та окремих регіонів є безпека функціонування природно-техногенних систем (ПТС) та їх надійності. ПТС є комбінованими системами, що являють собою просторово-часову композицію взаємодіючих компонентів штучних і природних об'єктів [14]. Формування та функціонування ПТС є результатом освоєння території, що обумовлено процесами взаємодії між техногенними об'єктами і природним середовищем, одним із компонентів якого є геологічне середовище. ПТС є відкритими динамічними системами, що обмінюються речовиною і енергією, їх стан у процесі активного функціонування помітно змінюється у часі. Це – складні цілісні просторово-часові системи, що відображають сукупність форм взаємодії між природним середовищем та техногенними спорудами на різних стадіях їх функціонування. На сьогодні створено велику кількість класифікацій техногенного впливу на геологічне середовище і відповідно техногенних складових природно-техногенних систем, що базуються на різних принципах та підходах [1, 5, 12, 14 та ін.]. У більшості класифікацій техногенних впливів на геологічне середовище виділяють класи та підкласи техногенних впливів, які належать до найважливіших форм та рядів рухів матерії (фізичних, хімічних та біологічних) [3, 5, 7; 9, 10]. Техногенні процеси розглядаються різними авторами для об'єктів господарської діяльності та для районів з різними умовами. Так, Є. О. Яковлев розглядає ці процеси для районів діяльності АЕС та інших об'єктів; В.Ф. Котлов, В.І. Осипів із співавторами, А.Я. Гаєв, Г.Н. Карпов – для міського та підземного будівництва; Є.В. Піннекер, Н.І. Плотноков та А.А. Карцев – для вирішення гідрогеологічних завдань; Л.С. Гарагуля – для умов будівництва в районах криолітозони [1, 2, 4, 5; 9, 10]. Більшість класифікацій техногенних впливів, факторів та процесів побудовано на конкретному матеріалі, охоплюють окремі питання і розглядають або види господарської діяльності, або джерела впливу, або наслідки впливу на геологічне середовище [13].

Загалом більшість класифікаційних побудов стосується аналізу та класифікації переважно техногенних впливів на геологічне середовище, яке розглядається

як субстанція, що взаємодіє (нині чи у потенційному майбутньому) із різноманітними інженерно-господарськими спорудами. Визначення ж характеру впливів геологічного середовища на транспортні ПТС, що є багатофакторними і об'єднують різні типи та класи процесів, потребує окремих аналітичних досліджень та створення класифікаційних схем, що дозволять дослідити джерела цих впливів, їх механізми, інтенсивність, зони дії, і, як наслідок, визначити адекватні методи щодо захисту від їх негативного впливу.

Характеристика впливів геологічного середовища та небезпечних геологічних процесів на транспортні природно-техногенні системи. Транспортні ПТС, що належать до регіональної та спеціальної категорій ПТС, являють собою лінійні комунікативні системи, техногенною складовою в яких виступають нафтопроводи, газопроводи, етиленпроводи, автомобільні дороги, залізниці, лінії електропередач та кабельні системи на суходолі та морському середовищі. Транспортні ПТС – це, як правило, протяжні лінійні споруди, що перетинають або побудовані у різних ландшафтно-кліматичних зонах із різноманітними геолого-геоморфологічними умовами та відповідним проявом різнохарактерних геологічних процесів. Очевидно, що їх функціонування відрізняється від локальних та об'єктних промислових, сільськогосподарських, селітебних та рекреаційних ПТС у зв'язку із інженерно-геологічними умовами території прокладення, значною протяжністю, а також особливим впливом геологічного середовища та небезпечних геологічних процесів. По-перше, вибір трас прокладення лінійних ПТС у більшості випадків унеможливило врахування значної кількості варіантів з метою запобігання інтенсивному прояву складних геологічних умов та процесів. По-друге, у зв'язку із значною довжиною цих систем, є ризик впливу негативних геологічних процесів різного характеру, що передбачає обов'язковий комплексний аналіз геологічних факторів та відповідні засоби прогнозування цього впливу. Крім того, у загальній структурі аналізу й оцінюванні ризику в природно-техногенних системах одним із головних етапів є ідентифікація всіх джерел небезпеки та визначення подій, що можуть ініціювати виникнення аварій та надзвичайних ситуацій, а обґрунтування фізико-математичних моделей, розрахунок просторово-часових змін і прогнозування можливих наслідків аварій є одним із головних завдань [6, 11].

Дослідження, пов'язані з якісною та кількісною оцінкою впливу геологічного середовища та небезпечних геологічних процесів на транспортні ПТС, потребують обов'язкового детального аналізу цих впливів, їх структурної та функціональної типізації і класифікування. Масштаби прояву впливів геологічного середовища на техногенні споруди, їх особливості та інтенсивність залежать від багатьох чинників, що визначаються характером взаємодії та взаємозв'язків окремих компонентів у ПТС, ландшафтно-кліматичних, геолого-геоморфологічних умов та технологічних характеристик споруд.

У відповідності до природи впливу геологічного середовища на ПТС та механізму дії геологічних процесів виділяються такі типи впливів.

1. **Фізичний**, що обумовлений енергетичним впливом певних фізичних полів.

2. **Фізико-хімічний**, пов'язаний із фізико-хімічними властивостями породних комплексів та фізико-хімічними процесами взаємодії різних компонентів ПТС.

3. **Хімічний**, що включає у себе впливи хімічної природи, обумовлений хімічною взаємодією різних речовин і компонентів геологічного середовища як у межах породних комплексів, так і у межах підземних вод [12].

Всі процеси, що виділяються, не залежать від рангу та ієрархічного рівня ПТС, оскільки один і той же вид впливу може проявлятися на різних ієрархічних рівнях. Головною умовою виділення окремих типів та класів впливів є те, що кожний з них визначається певними якісними і кількісними параметрами, що обумовлює

розробку ефективних засобів його оцінки. Ці параметри повинні відображати особливості відповідного впливу та співвідноситись із джерелом, що його викликає.

Розглянемо кожний із типів впливу детальніше, визначаючи характер впливу та геологічний процес, що із ним взаємодіє.

Фізичний тип впливу об'єднує процеси фізичної природи, які є наймасштабнішими і найрізноманітнішими та здійснюються механічним шляхом. У межах цього впливу у залежності від типу фізичного поля, що діє на споруду, виділяються такі класи, як механічний, гідромеханічний, гідродинамічний, термічний, електромагнітний.

Механічний вплив передається на інженерні споруди на основі механічної взаємодії матеріальних тіл, яка є різною за своєю природою. Механічний вплив призводить до пошкодження та руйнування споруд та здійснюється силовим шляхом без гідромеханічних впливів. Механічні впливи на ПТС здійснюються за рахунок значної кількості екзогенних геологічних процесів, найвпливовішими з яких є гравітаційні процеси та криогенні явища (рис. 1). Перша група процесів має гравітаційну природу, отже масові сили обов'язково беруть участь у їх формуванні. Вони виникають у реологічно різних середовищах (в'язких, пластичних, пружних), а з врахуванням зміни умов – пружно-в'язко-пластичних. Криогенні явища різної генетичної природи пов'язані із механічним впливом сезонно- та багаторічно мерзлих порід та зміною їх реологічних характеристик.

## Впливи геологічного середовища на ПТС

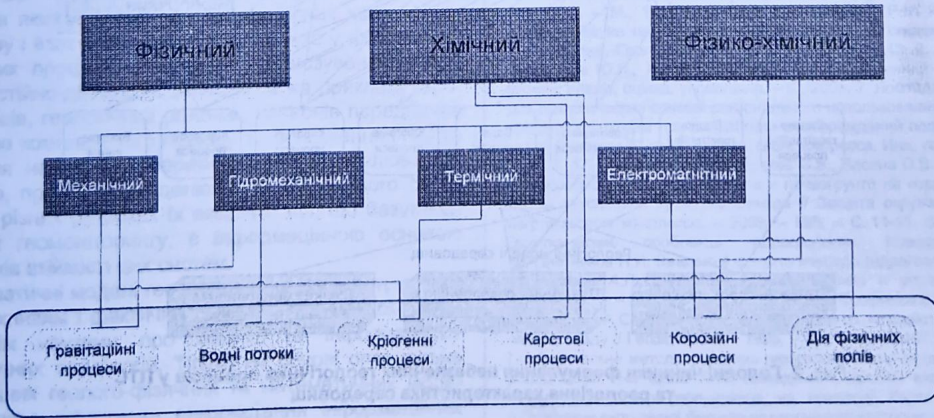


Рис. 1. Класифікація впливів геологічного середовища на транспортні природно-техногенні системи

Гідромеханічні впливи – це впливи, що здійснюються на основі гідромеханічних механізмів та викликаються рухом частинок у газоподібних та рідких середовищах, і у межах геологічного середовища пов'язані із процесами водної акумуляції та ерозії. Ці впливи також можуть бути викликані зміною рівня підземних вод та їх напору.

До наступного класу відносять впливи термічної природи, обумовлені дією теплових полів. Цей вплив є одним із провідних у межах криолітозони, що безумовно діє на всі технологічні елементи ПТС унаслідок різкої зміни температурного режиму гірських порід та набуття ними різних теплофізичних властивостей, що істотно залежать від їх стану, літологічного складу та будови. Поза зоною поширення сезонно- та багаторічномерзлих порід цей вплив позначається на стані та функціону-

ванні ПТС через процеси нагрівання та охолодження таких компонентів геологічного середовища, як ґрунти, поверхневі води тощо, однак не має такого катастрофічного впливу, як дія криогенних явищ.

Електромагнітні впливи викликаються дією електричних, магнітних та електричних полів та можуть бути як тривалими, так і короточасними.

У класі фізико-хімічних впливів вирізняються процеси, обумовлені різноманітними поверхневими фізико-хімічними явищами, що відбуваються у гірських породах та підземних водах. Це такі процеси, як дифузія, вилуговування, розчинення, адсорбція, капілярні явища тощо.

В основі хімічних впливів лежать обмінні та окисно-відновні реакції, а також реакції із формуванням комплексних сполук та ін. Це – хімічна взаємодія різних

речовин та компонентів геологічного середовища (породних комплексів та поверхневих і підземних вод) із інженерними спорудами.

Відмітним процесом, що істотно впливає на функціонування транспортних ПТС і має фізико-хімічну природу, є корозія. Він обумовлений, головними чином, електрохімічними реакціями окислення металу при взаємодії з вологою, при яких метал, видозмінюючись на іонному рівні, зникає з поверхні споруди (наприклад, трубопроводу). При захисті трубопроводів менш вразливими матеріалами (міди чи нержавіючої сталі) на початкових стадіях корозії формується тонка суцільна поверхнева оксидна плівка ("інертна плівка"), яка здатна формувати певний захист для споруди, однак також може зазнавати прориву унаслідок нерівномірного формування. Корозії зазнають заглиблені трубопроводи, на корозійні процеси яких впливає стан ґрунту, його хімічна складова, питомий електричний опір, аерація, вологість. Метал, що виконує функцію аноду відносно ґрунту (який виступає катодом), розкладається та переходить у розчин. Корозійні явища також можуть бути пов'язані із впливом хіміко-мікробіологічних факторів (так звана "біокорозія") [8]. Механізм біокорозії може бути пов'язаний із прямим впливом на швидкість анодної чи катодної реакції корозійного процесу, із форму-

ванням агресивних по відношенню до металів продуктів метаболізму, руйнуванням захисних плівок і покриттів та ін. Дія мікроорганізмів здатна призвести до утворення піттингів, які, у свою чергу, ініціюють розвиток стрес-корозійних тріщин.

Із хімічними впливами пов'язані також процеси карстоутворення, спричинені розчиненням чи вилугуванням тріщинуватих розчинних гірських порід під дією підземних чи поверхневих вод.

Окрему увагу слід звернути на процеси вивітрювання, що протікають у результаті єдиного і складно взаємопов'язаного фізичного, хімічного та хемобіогенного процесів. Власне процес вивітрювання не здійснює істотного впливу на транспортні ПТС, однак він є підготовчим та каталізує процесом до активізації та інтенсифікації інших небезпечних процесів і явищ, таких як гравітаційні зміщення, кригенні впливи тощо.

Головними факторами та агентами, що викликають розглянуті впливи різної природи, відповідно слід вважати гравітаційний чинник (діє при формуванні всіх процесів), гідродинамічний, температурний, фізико-хімічний та біологічний. Екзогенні процеси впливу на транспортні ПТС, підпорядковані дії цих факторів, наведено на рис. 2.

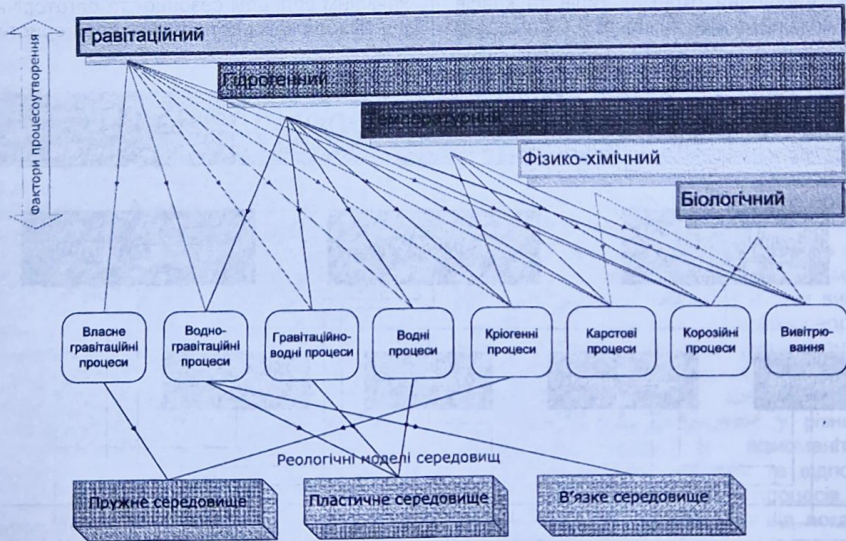


Рис. 2. Головні чинники формування небезпечних геологічних процесів у ПТС та реологічна характеристика середовищ

Безумовно, весь комплекс проблем, пов'язаних із впливом геологічного середовища та небезпечних геологічних процесів на транспортні ПТС, не обмежується наведеними фактами та даними, а є більш складним і багатофакторним.

Реологічний тип середовища, у якому відбуваються вищезазначені процеси, може різнитись і залежить від характеру взаємодії різних компонентів геологічного середовища та характеру взаємопоєднаних та послідовно діючих процесів та явищ як пружне (пружнотиттєве та пружної післядії) деформування, пластичне (затухаюча повзкість, в'язка течія, незатухаюча повзкість чи прогресуюча течія) деформування та крихке руйнування. Відповідно до цього впливи геологічного середовища та небезпечні геологічні процеси наближено відображаються реологічними моделями, серед яких головними є модель пружного, пластичного та в'язкого

середовищ. Кожна модель виражається набором головних реологічних рівнянь, які пов'язують особливості деформацій з особливостями напружень.

Відомо, що пружні моделі характеризують як ізотропні, так і анізотропні тверді тіла. Це тип поведінки, який може мати місце у породних комплексах навіть при напруженнях незначної величини та малої тривалості. Слід зазначити, що здатність до оберненої пружної деформації зберігається також у породах, що зазнають зв'язного течіння та повзкості в умовах безперервно діючих напружень.

Пластичні реологічні моделі характеризують текучу поведінку породних комплексів, при цьому характерними є залишкові деформації, що розвиваються при напруженнях вище порогу текучості. Пластична поведінка може відбуватись із деформаційним зміцненням та без нього. У пластичних реологічних моделях повна кінцева

деформація залежить від шляху розвитку деформації і являє собою криволінійний визначений інтеграл послідовності безкінечно малих приростів деформації, кожний із яких певним чином пов'язаний із миттєвим напруженим станом.

В'язкі реологічні моделі описують поведінку як пружину рідких речовин. В'язкість є мірою залежності між швидкістю деформації (чи градієнтом швидкості) та напруженням. Оскільки вторинна, чи усталена повзкість (псевдов'язка течія) є подібною до поведінки в'язкої рідини, то повільна течія гірських порід трактується як явище, що характеризується в'язкістю. В'язка течія є проявом дифузії, при цьому напружений стан обумовлює певне відхилення напрямків та абсолютних величин складових дифузії. Процес, що відбувається при цьому, є в'язкою течією у рідинах та псевдов'язкою течією у твердих речовинах.

Очевидно, що охарактеризовані ідеальні моделі поведінки гірських порід та комплексів, та геологічних процесів, що відбуваються у їх межах, є абстрактними моделями, що можуть слугувати тільки основою для опису поведінки реальних явищ. На справді ж реально існуючі природні геологічні процеси та реологічно різні геологічні середовища характеризуються дуже складною поведінкою, яка повинна розглядатись як комбінація ідеальних моделей. Ці типи поведінки можуть проявлятися або одночасно, або кожна з них переважати у певному інтервалі фізичних умов. Комбіновані моделі характеризують пружно-в'язку та пружно-в'язко-пластичну поведінку. Ці обставини повинні враховуватись при розгляді та створенні фізико-геологічних моделей геологічного середовища та процесів, а також при наступній розробці математичних моделей охарактеризованих процесів і явищ, головним завданням створення яких є встановлення кількісних характеристик впливу і взаємодії основних факторів у формуванні геологічних процесів для цілей прогнозування. Створення постійно-діючих моделей ПТС на прикладі окремих масивів, геологічних районів, полігонів передбачає реалізацію комплексного підходу з дослідження ПТС та отримання необхідних параметрів для моделювання. Очевидно, прогнозне моделювання динамічного стану ПТС при різних режимах їх експлуатації, що базується на даних геомоніторингу, є інформаційною основою для розрахунків стійкості цих систем.

Математичні моделі геологічних процесів і структур є надто важливим і фактично єдиним інструментом поєднання між науками про Землю та інформаційно-математичних технологій. Тільки на основі оптимально-сформованих геолого-фізичних та математичних моделей можливе ефективне використання інформаційних технологій. Але напрямок досліджень, що включає геолого-математичне моделювання, котрий виник на стику геології та інформаційних технологій, ще не отримав достатнього теоретичного підґрунтя. Тому створення окремих моделей геологічних процесів та відповідних інформаційно-аналітичних модулів являє собою певний теоретичний інтерес та практичну необхідність. На сучасному етапі становлення інформаційного моделювання геологічних процесів накопичення окремих прикладів

геолого-математичних та інформаційних моделей різного призначення (навіть у вигляді банку моделей) є достатньо актуальним завданням. Осмислення накопичених моделей може слугувати основою для формування базових теоретичних положень та практичних рекомендацій для цього напрямку досліджень наук про Землю.

**Висновки.** Визначаючи структурну та функціональну типізацію впливів геологічного середовища та процесів на транспортні ПТС, слід зазначити, що характер цього впливу є багатофакторним, об'єднує різні джерела, механізми та явища, аналітичні дослідження яких потребують обов'язкового системного підходу та окремих класифікаційних побудов. У відповідності до природи впливу геологічного середовища на ПТС та механізму дії геологічних процесів виділено фізичний, фізико-хімічний, та хімічний типи впливів (з відповідними класами), пов'язані із властивостями геологічного середовища та процесами взаємодії різних компонентів ПТС. Визначені методичні підходи до аналізу впливів геологічного середовища на транспортні ПТС є одним із головних етапів моделювання стану геологічного середовища та оцінки впливу небезпечних геологічних процесів на інженерні споруди. Наступна розробка фізичних, фізико-геологічних та математичних моделей геологічних процесів і середовищ із відповідним інформаційним моделюванням передбачає прогнозування стійкості ПТС та визначення заходів щодо їх безпечного функціонування.

1. Волошкина О.С., Яковлев С.О., Удов В.М. Прогноз та оцінка стану водних екосистем в питаннях управління екологічною безпекою. – К., 2007. 2. Егоренков Л.И. Геозология – М., 1993. 3. Зилинг Д. Г. Оценка региональных изменений геологической среды платформенных территорий, вызываемых деятельностью горнодобывающих предприятий // Инж. геология сегодня: теория, практика, проблемы / Под ред. Е.М.Сергеева, В.Т.Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1988. – С. 269-281. 4. Котлов В. Ф., Братнина И.А., Сипягина И.К. Город и геологические процессы. – М., 1967. 5. Котлов В. Ф., Юдина Р.Н. Концептуальное моделирование геологической среды на основе системных представлений // Инж. Геология. 1991. – № 1. – С. 132-143. 6. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природный, техногенный та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. – К., 2008. 7. Ломтадзе В.Д. Инженерно-геологические основы регионального использования геологической среды и ее охрана при разработке месторождений полезных ископаемых // Доклады 27-го Междунар. геол. конгресса. Инж. геология. Секция С-17. Т. 17. – М., 1984. 8. Мещеряков С.В., Васина О.В. Влияние химико-микробиологических факторов в почвогрунте на коррозионные процессы в условиях Крайнего Севера // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – №8. – С. 11-15. 9. Пиннекер Е.В. Экологические проблемы гидрогеологии. Новосибирск, 1999. 10. Плотников Н.И. Введение в экологическую гидрогеологию. М., 1998. 11. Рагозин А.Л. Общие положения оценки и управления риском // Геозология. – 1999. – № 5. – С. 417-429. 12. Трофимов В.Т., Королев В.А., Герасимова А.С. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геозология. – 1995. – № 5. – С. 96-107. 13. Тяпкин О.К. Геофизические методы решения геозологических задач. – Днепрпетровск, 2006. 14. Чалий П.П. Методичні розробки екологічної оцінки стану геологічного середовища на прикладі Карпатського регіону // Проблеми екологічної безпеки та керованого контролю динамічних ПТС. Матер. Міжн. Науково-практичної конференції, Львів, 1996 р. – Ч.1.

Надійшла до редколегії 01.12.09