

шпатом, біотит представлений як буро-зеленою різновидністю у порфіроподібних різновидах, так і бурою в середньозернистих з помірною титаністістю, звичайною до нормальних гранітів амфіболітової фації, із залізистістю, що коливається в межах 50–70 %, та підвищеною глиноземистістю. Завдяки знахідкам у них силіманіту та кордієриту мухарецькі граніти віднесені дослідниками [7] до апопелітових або s-гранітів інтрузивного походження.

У гранітах фіксується первинний парагенезис мінералів, зі структурами, що визначають чітку послідовність кристалізації від плагіоклазу до решітчастого мікрокліну, а потім і до кварцу, що значно відрізняє їх від устінівських та кишинських гранітів. Біотит, що з'являється на останніх етапах кристалізації разом із ільменітом, апатитом та цирконом головним чином формує міжзернові відособлення. На етапі постмагматичного перетворення, що за температурними умовами відповідає епідот-амфіболітової фації метаморфізму, відбулася деформація порід крихко-пластичного характеру з формуванням дилатційного парагенезису мінералів: сфен + епідот + біотит(II). Цей парагенезис заповнює тріщини в мінералах, міжзернові та кліважні домени, дифузійно розвивається по плагіоклазу. При наростанні інтенсивності зсувних рухів по сколах або площинах високої диференційної течії по вже утворених мінералах розвиваються крипторекристалізаційні новоутворення сфену, епідоту, біотиту разом із гранулобластичним кварцом, мікрокліном, плагіоклазом та крипторекристалічним агрегатом кварц-альбітового складу, що заліковує тріщини в первинних польових шпатах. При зниженні температури на окремих ділянках спостерігається заміщення біотиту хлоритом.

Деформація та катаклаз, до якого приурочені процеси серицитизації плагіоклазу, мусковітизації біотиту першої та другої генерації та виповнення тріщин кварцом із мусковітом, децю відірвані за часом і структурним планом від епідот-амфіболітового. Можливо до цього етапу приурочена поява лінзочок фіолетового флюориту по спайних площинах біотиту. Петрофізичні дослідження дозволили віднести мухарецькі граніти до таких, що остаточно перетворені як на малих глибинах в умовах розтягу, так і на середніх глибинах в умовах ущільнення при високому парціальному тиску кисню [5].

Із наведеного опису видно, що граніти кишинського та мухарецького комплексів відрізняються між собою первинними структурами та різним температурним режимом тектонічної переробки. Динамотермальний метаморфізм у межах Мухарецького масиву відповідав епідот-

амфіболітової фації з накладанням на неї окремими зонами зеленосланцевих фацій. Більш низький, такий, що відповідає гідротермально-метасоматичному рівню, рівень перетворення устінівських і кишинських гранітів. Наявність у останніх елементів статичної рекристалізації свідчить про довготривалий термальний відпал після закінчення тектонічних рухів або відпал, пов'язаний з подальшим формуванням Коростенського плутону.

Висновки. Формування існуючих мінеральних парагенезисів та структурно-текстурних характеристик гранітів, що розглядалися, відбувалося багатостадійно і з різною інтенсивністю. На процеси, що призвели до перетворення будови та речовинного складу порід, суттєво впливали тектонічні й метасоматично-гідротермальні процеси, що їх супроводжували. Режим перетворення гранітів мав пульсаційний характер на фоні загального зниження температури з утворенням на кожному етапі тектонічної активізації мінерального парагенезису, що відповідав епідот-амфіболітової та зеленосланцевої фаціям метаморфізму для мухарецьких і метасоматично-гідротермальним зміненням для кишинських та устінівських гранітів. Безпосереднім джерелом енергії процесу та метасоматизуючих інфільтраційних розчинів могли бути флюїди глибинного походження, а також Коростенський плутон, вік становлення якого збігається з віком тектонічної активізації території блоку. Проведений комплексний мікротектонічний аналіз із реконструкцією первинного вигляду порфіроподібних гранітів підтверджує об'єктивність поділу "автономних" гранітних масивів Новоград-Волинського блоку на два типи, як за первинною схемою кристалізації, так і за характером та рівнем постмагматичних тектонічних перетворень.

1. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (схема та пояснювальна записка) / Нац. стратиграфічний комітет України. – К., 2004.
2. Костенко Н.М. Геологическое развитие Волынского геоблака Украинского щита в раннем протерозое и некоторые вопросы его рудоносности // Геол. журн. – 1991. – № 6. – С. 12–23.
3. Морозов Ю.А. Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии // Геотектоника. – 2002. – № 6. – С. 3–25.
4. Рокачук Т.А., Бесपालко Н.А., Крамаренко Н.К., Хатунцева А.Я. Корреляция гранитоидов Украинского щита по особенностям термолитоминисценции щелочных полевых шпатов // Геол. журн. – 1980. – Вып. 40, № 1. – С. 25–34.
5. Толстой М.И., Гасанов Ю.Л., Костенко Н.В. Петрогеохимия и петрофизика гранитоидов Украинского щита та деякі аспекти їх практичного використання: Довідник-навчальний посібник. – К., 2003.
6. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Проблеми генетичної типізації сланцеватості // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – № 28. – С. 13–15.
7. Щербак І.Б. Петрологія Українського щита. – Л., 2005.
8. Passchier C.W., Trouw R.A.J. Microtectonics. – Berlin Heidelberg-New York, 1996.

Надійшла до редколегії 24.05.06

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 550.89

О. Іванік, канд. геол. наук

ГЕОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН У СИСТЕМІ ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ – ТРУБОПРОВІД У КРІОЛІТОЗОНІ

Проведено аналіз та визначено параметри геологічного середовища для оцінки напружено-деформованого стану системи геологічне середовище – трубопровід у межах кріолітозони. Визначено, що для вирішення завдань безпечно-го функціонування необхідним є створення геологічних моделей на основі геологічної та математичної постановки задач механіки суцільних середовищ.

The geological factors for estimation of strain-deformed state of the system "geological environment-pipeline" in cryolithozone are analyzed. It is necessary to develop geological models on the base of geological and mathematical target setting of the continuum mechanics for safe operation of trans pipelines.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. При очевидності негативного впливу геологічного середовища на трубопровідно-транспортні комплекси можливості моделювання екстремальних ситуацій з

необхідним одержанням кількісних характеристик силового впливу на трубопровід виникають тільки на основі оперативних розрахунків полів напружень і деформацій в системі геологічне середовище – трубопровід у широ-

кому діапазоні початкових і граничних умов, а також геологічних і механічних параметрів реологічно різних геологічних середовищ. Значення таких розрахунків особливо велике в районах з епізодичним розвитком небезпечних геологічних процесів, таких, як кріогенні явища, епізодично виникаючі потоки та інші.

Визначення та аналіз впливу різноманітних геологічних процесів на функціонування природно-техногенних систем різної структури та організації проводиться на основі використання різних методик [1; 3], однак більшість із них спрямована на оцінку якісного впливу геологічного середовища на техногенні споруди. Об'єктивна ж прогнозна оцінка впливу негативних геологічних факторів з метою безпечної експлуатації трубопроводів має досягатися шляхом створення геологічних і математичних моделей, комп'ютерних програм і чисельного експерименту на основі геологічної й математичної постановки рішення завдань механіки суцільних середовищ.

Постановка завдання. У зв'язку із вищевикладеним метою проведених робіт був аналіз параметрів геологічного середовища для оцінки напружено-деформованого стану системи геологічне середовище – трубопровід для вирішення завдань забезпечення безпечного функціонування магістральних трубопроводів на основі чисельного моделювання впливу кріогенних геологічних процесів на функціонування трубопровідно-транспортних систем. Для цього проведено детальний аналіз ландшафтно-кліматичних, геоморфологічних, літологічних факторів у межах території проходження магістральних трубопроводів Західного Сибіру, а також реологічних особливостей геологічного середовища [6; 7]. Розробка засобів чисельного моделювання впливу кріогенних геологічних процесів на трубопровід передбачає оцінку механічного впливу на трубопровідний комплекс умов сезонно- і багаторічномерзлих ґрунтів з режимами багаторазового відтаювання й замерзання за рахунок створюваних цими процесами об'ємних ефектів.

Викладення основного матеріалу. Із мерзлими породами пов'язані численні процеси та явища кріогенного характеру. Моделювання кріогенних процесів спрямоване на оцінку впливу гравітаційних сил, а також процесів сезонного й багаторічного випучування ґрунтів, наледутворення, теплового осідання ґрунту із врахуванням різних кліматичних, літологічних і механічних параметрів.

Стан мерзлих порід визначається розвитком у них механічних напружень і виражається у вигляді взаємообумовлених і послідовно діючих процесів і явищ, таких, як пружне, пластичне деформування, а також руйнування (крихке при порушенні суцільності або пластичне із втратою стійкості породи).

Оскільки мерзлі породи (як сезонно-, так і багаторічномерзлі) характеризуються проявом у них пружних деформацій, всі наступні постановки задач, їх вирішення й моделювання протікання різних кріогенних процесів мають проводитися з урахуванням цього фактору.

Поширення та дія небезпечних кріогенних геологічних процесів залежать від закономірностей розподілу й тенденцій режиму багаторічно- і сезонно-мерзлих порід, які характеризуються рядом особливостей.

У межах проходження дослідженої мережі магістральних трубопроводів Західного Сибіру виділяється декілька субширотних областей, які докорінно відрізняються за характером поширення та співвідношенням багаторічномерзлих і сезонно-мерзлих порід у верхній частині розрізу. На півночі регіону знаходиться зона практично суцільного поширення багаторічномерзлих порід, південніше – зона спільного поширення багаторічно- і сезонно-мерзлих порід, а південніше субширотної

течії Обі – зона сезонно-мерзлих порід. Слід зазначити, що площа поширення сезонно-мерзлих порід є набагато більшою: від Північного полярного кола до південних границь Західносибірської плити.

Південна границя поширення багаторічномерзлих порід проходить по лінії р. Пелим – верхів'я р. Тапсуй – долина р. Висим – верхня течія р. Мал. Сосьва – устя р. Назим – середня течія р. Вел. Салим – устя р. Мал. Юган – Нижньовартовськ – долина р. Вах – устя р. Дубчес [2].

Головними факторами, що впливають на формування мерзлих товщ, є: рельєф території, склад порід, вологість і ступінь водонасичення порід (а також пов'язана із цими параметрами льодовистість), теплофізичні властивості порід, температура повітря, опади, характер снігонакопичення, обводнення території. Ряд цих факторів і визначальних їхніх параметрів є головними при створенні розрахунково-аналітичного модуля з аналізу впливу кріогенних процесів на інженерні лінійні споруди.

Поширення й певний режим багаторічно- та сезонно-мерзлих порід обумовлюють появу низки геологічних процесів, пов'язаних із промерзанням і відтаюванням порід. Саме ці процеси здатні порушити динамічну рівновагу в системі геологічне середовище – трубопровід. У результаті взаємодії газопроводу із багаторічномерзливими породами активізуються або виникають нові негативні процеси, що призводять до його деформацій. Наземні обстеження несприятливих ділянок, дешифрування матеріалів аерофотозйомки різних років, геодезичні виміри вигинів газопроводу демонструють, що найпоширенішим і інтенсивним є процес випучування газопроводів. За короткий термін експлуатації (5–7 років) деформації за рахунок випучування досягають 1 м і більше. Унаслідок названих факторів першочергово в модулі з розрахунку впливу кріогенних процесів на лінійні споруди мають аналізуватися та розраховуватися процеси кріогенного пучіння. Ці процеси в межах розглянутої території розвиваються як при сезонному, так і при багаторічному промерзанні порід.

Кріогенне пучіння обумовлене збільшенням обсягу замерзаючої води та льодонакопиченням (унаслідок міграції води) при промерзаннях. Найбільші деформації пучіння спостерігаються при промерзанні у відкритій системі добре вологопровідних, найчастіше пілватих і водонасичених супіщаних і суглинистих порід при малих швидкостях промерзання та близькому розташуванню водоносного горизонту, чим визначається міграційний механізм пучіння.

Саме такі умови відкритої системи спостерігаються в межах території розташування дослідженої мережі магістральних трубопроводів, оскільки в цьому регіоні найпоширенішими є явища сезонного кріогенного пучіння, що проявляється в різних за складом породах. Комплекс зазначених факторів призводить до інтенсивного випучування підземних газопроводів. Додатковим фактором, що підсилює вплив кріогенних процесів, виступає зміна річного циклу температури газу, що транспортується. Випучування газопроводу, прокладеного в багаторічномерзлих ґрунтах, відбувається тоді, коли літня температура газу, що транспортується, є позитивною при негативній середньорічній. У результаті під газопроводом формується ореол сезонного відтаювання, що в зимовий період промерзає. У цьому випадку випучування газопроводу може становити 5–7 см за рік. При позитивній середньорічній, але негативній зимовій температурі газу за рахунок сезонного промерзання газопровід підвищується. Величина підвищення в окремі роки може бути більше величини осадка в літній сезон, тобто газопровід поступово виштовхується із ґрунту. У загальному випадку вертикальні деформації газопроводів є наслідком спільної дії двох процесів: випучування та спливання, навіть за наявності привантажувачів.

Процеси сезонного пучіння нерівномірні, чим обумовлене утворення плям-медальйонів, дрібногорбистого рельєфу й особливо сезонних міграційних горбів пучіння, формування яких становить найбільшу небезпеку з огляду впливу на трубопровід. Формування цих горбів пучіння відбувається в холодний сезон року, наступне відтавання промерзлого шару супроводжується їх зникненням. Ширина горбів становить перші метри, а перевищення над поверхнею – 0,2–1,5 м. Формування ін'єкційних горбів пучіння пов'язане зазвичай із нерівномірним промерзанням порід сезонно-талого шару, у результаті чого виникає гідростатичний напір у надмерзлотних водах, що рухаються. Такі явища характерні для підніжжя схилів. Кріогенне сезонне пучіння поширене на всіх геоморфологічних рівнях. У межах високих гіпсометричних рівнів ці процеси характеризуються високою інтенсивністю, оскільки саме на цих рівнях шар сезонного відтавання складений пілуватими суглинками, супісками й пілуватими пісками. Процес пучіння починається вже при промерзанні верхніх горизонтів і триває протягом усього періоду промерзання. Сумарна величина пучіння в кожній точці не залишається постійною, а змінюється щорічно, що пояснюється зміною потужності сезонно-мерзлого або сезонно-талого шару. Кріогенне пучіння проявляється по площі однорідної ділянки нерівномірно. Розмір окремих горбоподібних форм, що формуються при цьому, у середньому становить 10 м у плані, змінюючись від 8 до 15 м (при пучінні порід сезонно-мерзлого шару) [4].

Механізм розвитку деформацій пучіння визначається декількома фізико-хімічними процесами, частка яких у формуванні сумарної величини пучіння залежить від умов промерзання дисперсних порід. Загальна величина пучіння залежить від величини пучіння породи за рахунок збільшення на 9 % об'єму води при переході в лід, від величини пучіння за рахунок води, яка надходить у мерзлу частину породи в результаті міграції або ін'єкції, а також від величини деформацій усадки відталої зони породи, яка збезводнюється. Найбільшу роль у формуванні сумарної величини пучіння порід, що промерзають, відіграє льодонакопичення в них за рахунок вологи, що мігрувала в мерзлу зону (90–95 %). Деформація усадки, що залежить від складу й будови породи та умов її промерзання, може досягати значної величини, унаслідок чого буде спостерігатися не підняття, а опускання поверхні ґрунту. Так, наприклад, незважаючи на значні величини міграційного льодонакопичення в глині, величина пучіння в ній може бути меншою, ніж у суглинка, за рахунок розвитку більших деформацій усадки. Тому одним із головних питань, що потребують кількісного розв'язання, це є визначення величини зони усадки порід. За даними багатьох дослідників, мерзлі породи, що залягають нижче 10–15 м від поверхні, особливо на півночі Західного Сибіру, утворилися в результаті епігенетичного промерзання, тобто їх промерзання відбувалось після формування надлишкової льодовистості пов'язано, як правило, із сегрегаційним льодовиділенням, для якого (окрім впливу літологічного фактору), характерним є істотний вплив ваги вищеякої товщі на розміри шлірів льоду, які і визначають надлишкову льодовистість порід.

Дослідження впливу вологемності й пористості ґрунту на величину пучіння показує, що в породах, що промерзають, зменшення пористості та зниження вологості приводять до зменшення величини деформацій пучіння за рахунок зменшення сумарного льодонакопи-

чення. Умови повного вологонасичення призводять до зменшення величини усадки ґрунту.

Експериментально встановлено [5], що замерзання води в замкнутому середовищі, яким можуть бути пори ґрунту, може призвести до виникнення в умовах недопущення деформації значних напружень. Приблизно вони оцінюються з рівняння Клапейрона – Клаузиуса: напруження становлять близько 13,4 МПа на 1° зниження від'ємної температури. Однак, оскільки природні ґрунти не можуть розглядатися як закриті й недеформована система, то частка напружень випучування в загальній величині напружень і деформацій пучіння порід, що промерзають, не є домінуючою, а проявляється як доповнення до напружень набухання, що розвивається за рахунок розклинувальної дії тонких плівок мігруючої води.

При виникненні напружень пучіння вирішальне значення мають умови недопущення деформації: чим більшою виявляється недопущена деформація, тим більші значення напружень фіксуються в породі, що промерзає. Параметри допущеної деформації визначаються міцністю трубопроводу на згин, усадкою проталої частини ґрунту, механічним стисненням (компресією) відталої й мерзлої зон [5; 8].

Напруження та деформації в частині, що промерзає, дисперсних порід, які повсюдно поширені в межах проходження досліджених трубопроводів, разом із величиною недопущення деформації поверхні ґрунту, істотно залежать від складу й будови відкладів. Зі збільшенням дисперсності й пілуватості ґрунтів при повному їх водонасиченні напруження пучіння в цілому зростають у зв'язку зі збільшенням початкової вологості, міграційних потоків вологи, деформації пучіння та ролі фактора розклинувального тиску. У зв'язку із цим літологічний фактор і характер водонасичення мають бути визначальними вхідними параметрами для даного модуля.

Висновки. У районах з епізодичним розвитком небезпечних геологічних процесів, таких, як кріогенні явища, епізодично виникаючі потоки та інші оцінка силового впливу на техногенні системи може бути проведена тільки на основі кількісного аналізу явищ і процесів, що виникають у природно-техногенній системі. Такі дослідження мають проводитися на основі визначення напружено-деформованого стану в системі геологічне середовище – трубопровід, зміна якого саме і призводить до порушення динамічної рівноваги в такій системі і викликає низку небезпечних наслідків. Створення геологічних і математичних моделей, комп'ютерних програм на основі рішення завдань механіки суцільних середовищ забезпечить об'єктивну прогностичну оцінку впливу негативних геологічних факторів з метою безпечної експлуатації трубопроводів.

1. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. – М., 2002.
2. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. – М., 1989.
3. Горелик Я.Б. Влияние текучести льда на протавивание мерзлых пород вокруг скважин // Газовая промышленность. – 2004. – № 11. – С. 59–63.
4. Дубиков Г.И. Состав и кріогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. – М., 2002.
5. Ершов Э.Д. Физико-химия и механика мерзлых пород. – М., 1986.
6. Іванік О.М. Головні аспекти комплексної оцінки стану геологічного середовища для функціонування природно-техногенних трубопровідно-транспортних систем Західного Сибіру // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2006. – Вип. 36. – С. 41–44.
7. Іванік О.М., Михайленко А.Г., Шевчук В.В. Передумови та основні аспекти створення підсистеми аналізу геологічного середовища для Географічних інформаційних систем магістральних трубопроводів // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2005. – Вип. 33. – С. 53–56.
8. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М., 1973.

Надійшла до редколегії 19.05.06