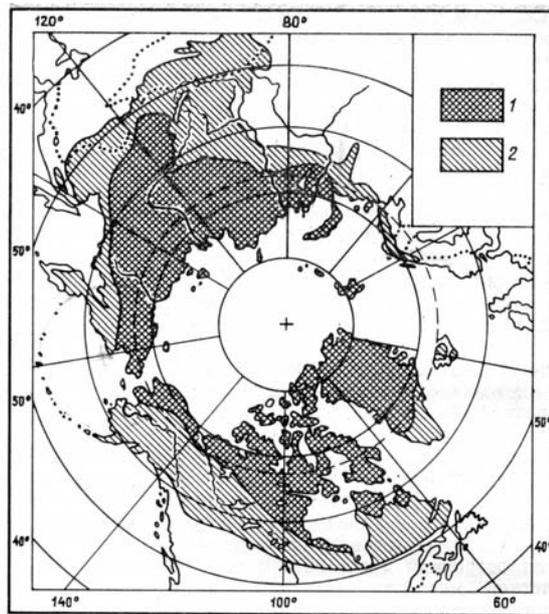


### 5.2.7. Геологічні процеси в областях поширення багатолітньомерзлих гірських порід

Поверхневі шари ґрунтів та гірських порід підлягають сезонному промерзанню взимку та відтаюванню у весняно-літній період. Закономірності цього процесу, а також температурний режим шарів визначаються умовами теплообміну на поверхні Землі, складом порід та рівнем їхньої зволоженості. Найбільша глибина промерзання порід фіксується в північних приполярних районах, найменша – у південних. Верхній шар ґрунтів та гірських порід, який підлягає періодичному промерзанню та відтаюванню, характеризується великою динамічністю процесів і називається *активним шаром*. Проте, на відміну від шару, який підлягає сезонному промерзанню, тобто активного, на широких просторах півночі Північноамериканського та Євразійського континентів нижче сезонного шару залягають мерзлі гірські породи, котрі не відтають влітку і знаходяться в мерзлом стані впродовж багатьох тисячоліть. Такі породи називають *багатолітньомерзлими гірськими породами*, а зону їхнього поширення – *мерзлотою зоною літосфери*, або – *кріолітозоною* (грец. “кріос” – холод). Відповідно і наука, яка вивчає кріолітозону та процеси, пов’язані з нею, називається *геокріологією*, або *мерзлотознавством*. Фундатором цієї науки був М.І.Сумгіній. Особливого розвитку вона набула за останні чотири десятиліття, і з її допомогою вирішуються такі важливі народногосподарські проблеми, як розвиток гірничо-видобувної

промисловості, будівництво залізничних та автомобільних доріг, промислових і житлових споруд в районах розвитку багатолітньої мерзлоти. Разом з тим виникла необхідність всебічного вивчення багатолітньомерзлих порід, геологічних процесів, пов'язаних з ними та оцінку їхнього впливу на будівництво різноманітних споруд, об'єктів експлуатації корисних копалин, тощо.

Багатолітньомерзлі гірські породи, як вже зазначалося вище, користуються поширенням у північній частині північної півкулі і займають близько 25% площі суходолу (рис. 5.47). Згідно з результатами мерзлотно-температурного районування тут виділяється декілька широтних зон, які відрізняються, насамперед, за глибиною промерзання гірських порід.



*Рис. 5.47. Поширення багатолітньої мерзлоти в північній півкулі Землі (за Т. Певе).*

*Зони мерзлоти: 1 – суцільної; 2 – острівної.*

Перша з півдня зона характеризується розвитком окремих островів багатолітньомерзлих порід на загальному тлі розмерзлих

порід. Її потужність не перевищує 25 м. На північ від неї простягається зона багатолітньомерзлих порід потужністю до 100 м, розділених “таліками” – товщами, позбавленими мерзлих порід. При наближенні до північних окраїн материків розміри та потужність ділянок мерзлих порід збільшуються і вона поступово набуває суцільного поширення, а “таліки” спостерігаються лише під руслами великих рік, озерами та в межах ділянок інтенсивної циркуляції підземних вод. Третя зона багатолітньомерзлих порід характеризується потужністю від 100 до 200 м, четверта – 200-300 м, п’ята – 300-400 м. Максимальне промерзання гірських порід на глибину досягає 500 та більше метрів (шоста зона) і спостерігається в крайніх північних районах, які примикають до Північного Льодовитого океану, на його островах та в Якутії (басейн р.Вілюй).

У гірських районах поширення багатолітньомерзлих порід підпорядковується вертикальній зональності і характеризується збільшенням потужності кріолітозони з висотою гір від 100 м до 1000 м. В заболочених областях широким розвитком користується острівна та переривчаста мерзлота потужністю до 100 м, і дуже рідко суцільна – потужністю 100-400 м.

Основною складовою кріолітозони є *підземний лід*, який об’єднує всі види льоду в мерзлих породах незалежно від їх утворення, розмірів форми крижаних тіл і умов їх залягання. Згідно з класифікацією В.О. Кудрявцева та інших дослідників, весь лід, який формується в гірських породах, може бути підрозділений на чотири основні групи: 1) *похований*, який утворюється внаслідок захоронення сніжників та підземного льоду; 2) *повторно-жилый*, який утворює складні за механізмом формування тіла і є результатом багатократного утворення льоду в тріщинах, що періодично виникають в одному і тому ж місці; 3) *ін’єкційний*, який утворюється внаслідок замерзання підземних вод, котрі вкорінюються під тиском у товщу мерзлих дисперсних порід; 4) *конституційний*, який утворюється здебільшого при промерзанні вологих порід. Останній поділяється на *лід-цемент*, представлений дрібними кристаликами льоду, які заповнюють пори та тріщинки у вологих

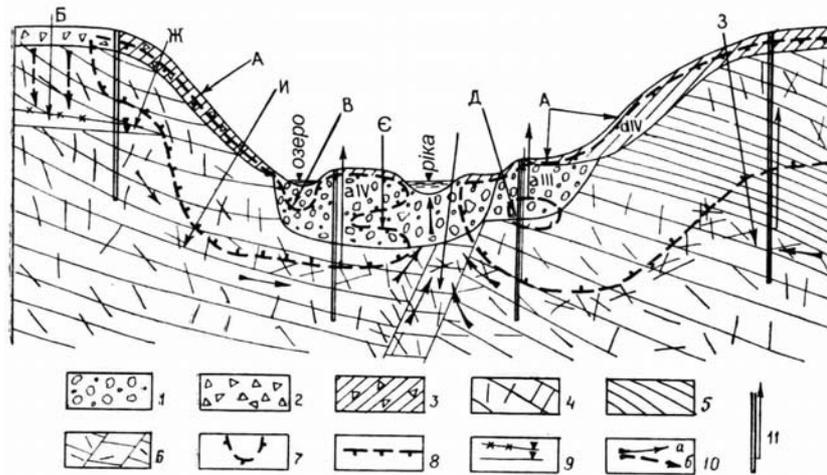
породах при їхньому замерзанні, і *сегрегаційний* (від лат. “*segregare*” – відокремлювати), або *міграційний лід*, який утворюється при замерзанні води, що рухається до фронту промерзання порід. У результаті виникають льодові шліри (ниткоподібні включення), невеликі за розмірами гнізда та лінзоподібні проверстки.

Невід’ємною частиною кріолітозони є підземні води, поширення яких та режим контролюються характером розподілу багатолітньомерзлих порід і кліматичними особливостями регіону. Згідно з класифікацією М.М. Романовського підземні води кріолітової зони підрозділяються на: 1) надмерзлотні води сезонно-талого шару; 2) надмерзлотні води нескрізних таліків; 3) води скрізних таліків; 4) підмерзлотні води (рис. 5.48).

*Надмерзлотні води* сезонно-талого шару утворюються при відтаюванні верхньої частини порід в літньо-осінній час. Основним джерелом живлення таких вод є атмосферні опади. Їх рух відбувається завдяки нахилу поверхні землі, від піднятих ділянок до понижень. На горизонтальних поверхнях рух вод відсутній або відбувається дуже повільно. За складом це здебільшого прісні гідрокарбонатні води.

До *надмерзлотних вод* нескрізних таліків відносяться підозерні, підруслові та прируслові талі води, які існують завдяки віддачі водоймищами та потоками певної кількості тепла. Особливе значення при цьому відіграють підруслові талі води, живлення яких відбувається, головним чином, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і частково річкових вод, внаслідок чого вони є слабомінералізованими. Підруслові талі води рухаються вздовж долин рік і характеризуються цілорічним стоком. Окрім цього, з підрусловими таліками пов’язані місця розвантаження глибинних вод.

Прируслові заплавні таліки приурочені до прируслових мілин, кіс, заглиблень у заплавах та зазнають періодичного впливу теплих течій спричинених повеннями. Вони характеризуються періодичним стоком, застійним режимом і сірководневим забрудненням.



**Рис. 5.48. Підземні води кріолітозони** (за М.М. Романовським).

**А** – надмерзлотні води сезонно-талого шару; **Б** – води наскрізного таліка; **В** – надмерзлотні води підозерного нескрізного таліка; **Г** – води прохідного нескрізного підруслового таліка; **Д** – внутрішньомерзлотні води; **Є** – міжмерзлотні води; **Ж** – підмерзлотні води безнапірні; **З** – підмерзлотні води напірні; **І** – підмерзлотні води, контактуючі, напірні.

1 – піщано-галечникові відклади; 2 – щербінка і жорства; 3 – щербінка і жорства з супісковим заповнювачем; 4 – тріщинуваті сланці; 5 – нетріщинуваті сланці; 6 – зона розлому; 7 – межа багатолітньомерзлих порід; 8 – межа сезонно-талого шару; 9 – рівень підземних вод; 10 – напрямок руху підземних вод; 11 – бурові свердловини.

Води наскрізних таліків діляться на дві групи:

– **води інфільтраційних таліків**, які характеризуються низхідним рухом і утворюються в результаті інфільтрації атмосферних опадів та інфлюації (просочування) поверхневих вод по зонах розривних тектонічних порушень або карстових каналах;

– **води напірно-фільтраційних таліків**, які характеризуються висхідним направленим рухом і живляться за рахунок розвантаження підмерзлотних і міжмерзлотних вод.

**Підмерзлотні води** розташовуються безпосередньо нижче підшови багатолітньомерзлих порід і називаються **контактуючими**. Вони приурочені до різних за складом та проникністю гірських порід і завжди перебувають під тиском, а при розкритті свердловинами фонтанують. Глибина їхнього залягання визначається потужністю багатолітньомерзлих порід, які одночасно є кріогенним водотривом. Серед них виділяються води з плюсовою та від'ємною температурами, що значно впливає також і на їх хімічний склад. Встановлено, що води з температурою вище 0°C здебільшого прісні та солонуваті, а від'ємна температура характерна для солоних вод і ропи. Останні ще називаються **кріогалінними** або **кріонегами**. Подекуди горизонти таких вод досягають значної потужності, нарощуючи знизу кріолітозону. Окрім контактуючих, серед підмерзлотних вод виділяються також і неконтактуючі, тобто такі, які відокремлені від підшови водоносного горизонту мерзлим шаром водонепроникних порід. Такі води здебільшого є напірними.

В південних районах кріолітозони, де багатолітні мерзлі породи утворюють острови, неконтактуючі підземні води відокремлені від підшови горизонту мерзлими водопроникними породами. Вони ненапірні, характеризуються вільним рівнем і зв'язані в єдину систему з таліками та мерзлими островами, які їх розділяють (див. рис. 5.48ж).

**Міжмерзлотні та внутрішньомерзлотні води** поширені у верствах та лінзоподібних тілах незамерзлих гірських порід, які обмежують багаторічні мерзлі породи, або залягають зверху і знизу (див. рис. 5.48є). Джерелом таких вод здебільшого є води глибинного стоку. Міжмерзлотні води характеризуються гідравлічним зв'язком з іншими водами кріолітозони. Внутрішньомерзлотні води обмежують багатолітньомерзлі породи з усіх боків і не зв'язані з іншими типами вод (див. рис. 5.48д). Слід також зазначити, що міжмерзлотні водоносні лінзи утворюються під обмілілими та осушеними озерами.

В зоні багатолітніх мерзлих порід, протягом їх існування спостерігається безперервна дія цілої низки **геологічних процесів**, які призводять з однієї сторони до виникнення характерних

тільки для цієї зони форм рельєфу, а з іншої – спричиняють утворення своєрідних порід. Так, наприклад, формування повторно-жильного льоду, пов'язано з виникненням так званих морозобійних тріщин. Серед факторів, які сприяють утворенню повторно-жильного льоду провідна роль належить:

- багатократному виникненню морозобійних тріщин, які проникають у товщу багатолітньомерзлих порід глибше межі сезонного відтаювання;
- багатократне заповнення тріщин льодом;
- наявність достатньо пластичних або здатних до ущільнення гірських порід.

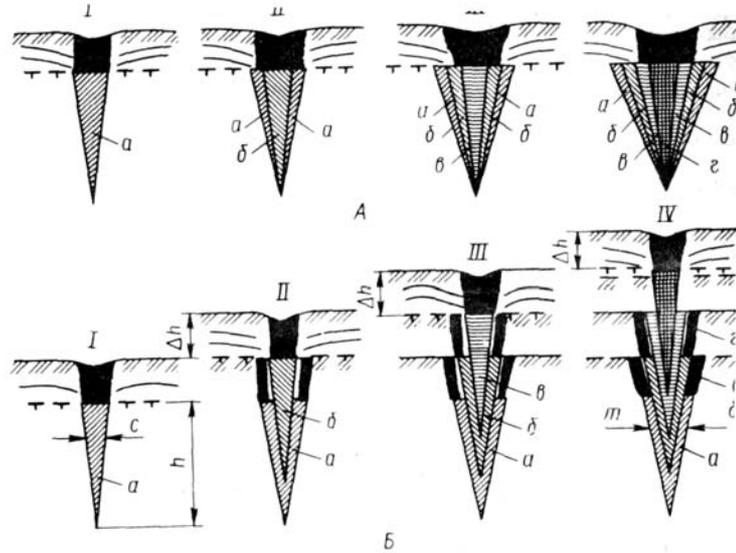


Рис. 5.49. Схема епігенетичного (А) і сингенетичного (Б) росту повторно-жильного льоду (за Б.М. Достоваловим).  
I – IV – послідовні стадії росту жил.

Виділяється два типи росту жил: 1) **епігенетичний**, коли жили утворюються у сформованих породах (рис. 5.49, А); 2) **сингенетичні**, коли формування жил відбувається одночасно з накопиченням осадків (рис. 5.49, Б). Це може бути заплавний

алювій, делювіальні та інші відклади. В першому випадку прожилки льоду утворюються при послідовних річних циклах, внаслідок щорічного розтріскування та заповнення тріщин новим льодом. При цьому ріст жил відбувається в ширину. В іншому випадку, тобто при сингенетичному рості, кожна нова жила льоду не досягає кінця попередньої і виклинюється, що призводить до росту жил у вертикальному напрямку, на величину рівну потужності осада, який накопичився за рік.

При таненні крижаних жил утворюються клиноподібні порожнини, в яких відбувається накопичення уламкового матеріалу, що утворюється при руйнуванні гірських порід, які складають стінки тріщин, у результаті формуються так звані псевдоморфози по крижаних жилах (рис. 5.50).

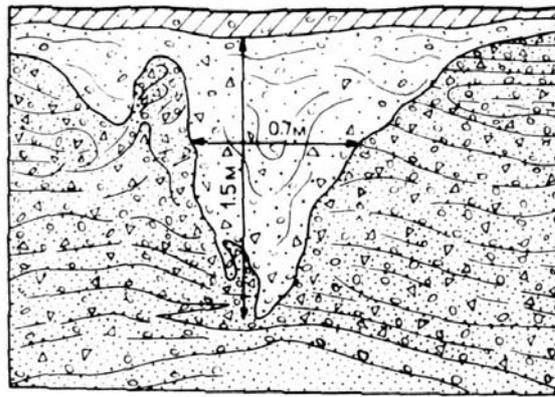


Рис. 5.50. Псевдоморфоза повторно-жилнього льоду (за О.В. Кожевниковим).

1 — пісок з галькою та щебінкою; 2 — пісок з галькою та щебінкою, який заповнює простір колишнього крижаного клина; 3 — суглинки з

У різних районах кріолітозони поширені горбоподібні форми рельєфу, утворення яких пов'язане з морозним зпучуванням.

Вони виникають за рахунок збільшення об'єму ґрунтових вод при їх замерзанні.

Найпоширенішими серед таких

форм рельєфу є *міграційні горби*, які формуються під впливом переміщення до фронту промерзання великих об'ємів води, джерелом якої є води талої частини ґрунту, що залягає нижче.

Формування таких міграційних горбів супроводжується інтенсивним сегрегаційним утворенням льоду (рис. 5.51). Здебільшого це відбувається на торфовищах, до яких при промерзанні волога поступає з порід пересичених водою.

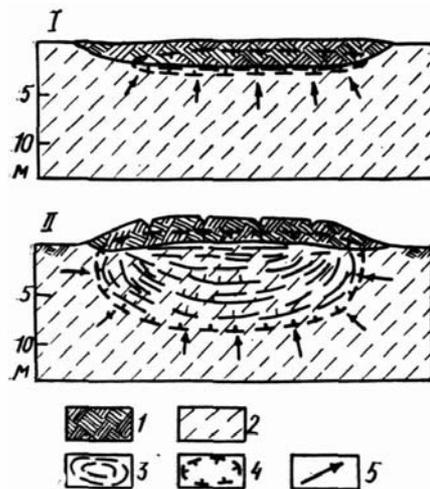


Рис. 5.51. Схема утворення міграційного горба під торфовищем (за О.Ф. Якушовою, В.Ю. Хайном і В.І.Славіним).

I – початкова стадія; II – зріла стадія: 1 – торф; 2 – суглинок; 3 – сегрегаційний лід; 4 – межа багатолітньомерзлої породи; 5 –

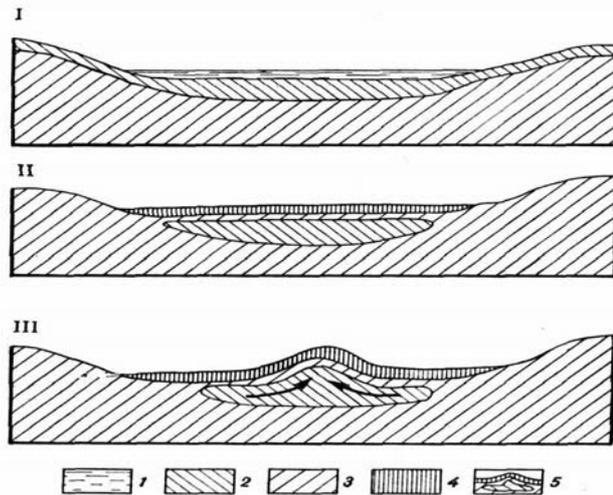
піднімає покрівлю. Це здебільшого багатолітні споруди заввишки до 10 і більше метрів при ширині декілька десятків метрів.

В кріолітозоні широким розвитком також користуються **дрібнополігональні форми рельєфу**, пов'язані з розтріскуванням ґрунтів на дрібні полігони, внаслідок нерівномірного промерзання сезонно-талого шару. Серед таких форм найпоширенішими є так звані **плями-медальйони** в дисперсних ґрунтах (рис. 5.53). При промерзанні зверху та по тріщинах всередині полігона виникає гідростатичний тиск, під впливом

Окрім міграційних горбів серед форм морозного зпучування широким розвитком користуються також **ін'єкційні горби**, які утворюються в умовах закритих систем. Серед них розрізняють горби, які виникають в результаті промерзання підземних таліків і називаються **булгуняхи** (рис. 5.52), а також **гідролаколіти**.

Формування гідролаколітів пов'язане з проникненням тріщинно-жильних вод різного типу, що спричиняє утворення на деякій глибині від поверхні крижаного ядра, яке

якого відбувається прорив верхньої мерзлої кірки і розтікання по поверхні звільнених вод. Другим типом полігонально-структурних форм є “кам’яні вінки” та *багатокутники*. Вони утворюються в неоднорідних за складом пухких породах, які містять включення щебінки, гальок та валунів. У результаті багатократного промерзання і відтаювання відбувається “виморожування” з породи грубоуламкового матеріалу на поверхню та переміщення в напрямку понижених тріщинних зон, що призводить до утворення кам’яних бордюрів (рис. 5.54).



**Рис. 5.52. Схема утворення булгуняків.**

1 – вода; 2 – талі породи; 3 – мерзла товща; 4 – крига; 5 – витиснені на гору породи які складають булгуняк.

Велике значення в районах розвитку багатолітньої мерзлоти мають процеси, які відбуваються на схилах позитивних форм рельєфу – горбах, валах, схилах долин балок та ярів, тощо. Найпоширенішими серед них є процеси соліфлюкції та курумоутворення.

Під **соліфлюкцією** (лат. “*солюм*” – *грунт* і “*флюксус*” – *текти*) слід розуміти повільний рух по схилу надмірно зволжених порід і ґрунтів. При сезонному відтаюванні насичених льодом порід і ґрунтів сезонно-талого шару,



Рис. 5.53. Плями-медальйони (за М.М. Романовським).

вони за рахунок талих та дощових вод перезволожуються, втрачають структурні зв'язки і набувають в'язко-пластичного стану, що дозволяє їм повільно пересуватися (текти) по схилах. Таким чином утворюються різноманітні натічні форми у вигляді язиків, або соліфлюкційних терас (рис. 5.55).

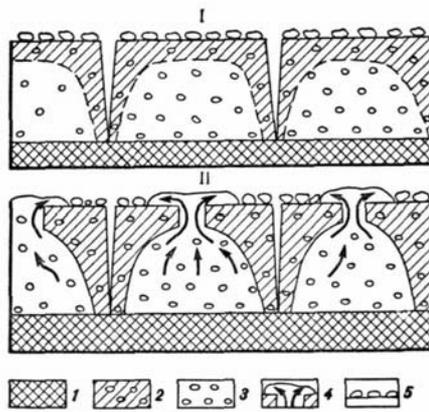


Рис. 5.54. Схеми утворення “кам'яних вінків” (за Б.М. Достополовим).

I – початкова стадія; II – кінцева стадія: 1 – багатолітньомерзла порода; 2 – шар промерзання; 3 – рідкі глинисті ґрунти; 4 – глиниста пляма; 5 – уламки порід

**Куруми** являють собою кам'яністі рухливі розсипи в горах або на плоскогір'ях, там де скельні породи залягають близько до поверхні. Утворення уламкового матеріалу курумів пов'язане з морозним вивітрюванням, спричиненим періодичним сезонним промерзанням та відтаюванням гірських порід. Подекуди вони утворюють суцільні кам'яністі поля площею від перших сотень

квадратних метрів до декількох десятків квадратних кілометрів. Проте, здебільшого, вони зустрічаються у вигляді курумних потоків, що рухаються по схилах, а також по улоговинах, балках та ярах, котрими розчленовані самі схили. Такі потокоподібні куруми простягаються на відстань до одного і більше кілометрів. Їх рух по схилах спричинений наявністю гольцевого льоду, який утворюється при замерзанні води, що проникла в порожнини. Разом з тим, у підніжжі курумів може знаходитися тонкий супіщано-суглинистий матеріал, який періодично при таненні гольцевого льоду перезволожується і також рухається вниз по схилу.

Серед процесів, які відбуваються в кріолітозоні значне місце належить **термокарсту**, або термічному карсту. Це процес танення підземного льоду, який супроводжується просіданням земної поверхні, що призводить до виникнення западин та



Рис. 5.55. Соліфлюкційні тераси (за С.Г. Бочу)

термокарстових озер. Причиною розвитку термокарсту може бути зміна кліматичних умов (потепління), або порушення природних умов внаслідок техногенної дії людини (риття каналів, вирубування лісу, тощо). Форми термокарстового рельєфу бувають самими різноманітними і залежать від того, який підземний лід підлягав відтаюванню. Так, наприклад, термокарстування потужного повторно-жильного льоду призводить до виникнення глибоких термокарстових озер. При міграції або осушенні таких озер на їх місці утворюються так звані **аласні улоговини**, розділені пагорбами останців порід, які містилися жили льоду. Такі залишкові горби називаються **байджерами**.

Окрім зазначеного вище, при відступі мерзлоти, або її деградації на берегах морів спостерігається термоабразія, а води поверхневого стоку, рухаючись, спричиняють термоерозію.

Вивчення кріолітозони та процесів, які відбуваються в її межах, має велике практичне значення. Насамперед, це стосується похованих під товщею багатолітньомерзлих порід цілої низки родовищ корисних копалин, таких як кам'яне вугілля, залізо, кольорові та рідкісні метали і особливо нафта та газ. При освоєнні просторів північної частини Євразійського і Американського континентів, будівництві різноманітних промислових та гідротехнічних споруд, залізничних та шосейних доріг необхідно враховувати своєрідні природні обставини, обумовлені наявністю багатолітньомерзлих гірських порід. Процеси зпучування ґрунтів при промерзанні, що супроводжуються виникненням пагорбів різних розмірів, наземне та підземне наростання льоду, термокарстові та інші явища вимагають ретельного вивчення при проектуванні різних споруд. Не врахування всіх можливих теплових та механічних взаємодій мерзлих порід з спорудами, які будуються на них, може викликати різного роду деформації останніх, які іноді носять катастрофічний характер.

При пошуках та експлуатації родовищ корисних копалин з використанням гірничих виробок (шахт, глибоких шурфів, тощо) багатолітньомерзлі гірські породи можуть мати як позитивне, так і негативне значення. Позитивним є те, що проходка шахт можлива без застосування кріплення. У випадку розкриття прошарків талих ґрунтових вод, вони замерзають, що дозволяє вести проходку як у звичайних ґрунтах. До негативних явищ відноситься можливість виникнення зсувів і просідання брил та окремих блоків мерзлих порід, завдяки наявності в них включень льоду і його пластичності.

### **Запитання для самоперевірки**

1. Назвіть географічні райони поширення багатолітньомерзлих порід.

2. Охарактеризуйте типи льоду, які мають місце у кріолітозоні.
3. Як і де утворюється повторно-жильний лід ?
4. Охарактеризуйте мікроформи рельєфу, поширені в районах розвитку багатолітньомерзлих порід.
5. Що таке соліфлюкція і куруми ?
6. Що таке термокарст ?