

ГІДРОГЕОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У КАРБОНАТНИХ ПОРОДАХ. ЧАСТИНА I. СУФОЗІЯ

Розглянуто гідрогеодинамічні процеси у карбонатних породах мергельно-крейдяної товщі верхньої крейди Святогірської брахіантикліналі. Результатом цих процесів є явища суфозії та карсту. Описано процеси суфозії – як наслідок фізичної (механічної) дії підземних вод на карбонатні породи. Охарактеризовано можливості визначення кількісних показників «твердого стоку», що утворюються в процесі механічного руйнування гірських порід та перенесення твердої мінеральної речовини підземними водами.

Встановлено, що інтенсивність суфозії знаходиться у прямій залежності від об'ємів інфільтраційних вод, що проникають у карбонатні гірські породи у різні періоди року та геоморфологічних особливостей території. Розвитку цього процесу сприяє новітня і сучасна тектонічна активізація Петрівсько-Кремінського розлому, яка обумовлює не лише зйомання південного крила Святогірської брахіантикліналі, а й дезінтеграцію карбонатних мергельно-крейдових порід верхньої крейди. Висхідний тектонічний розвиток рельєфу асоціюється із опуклими схилами, які суттєво переважають у рельєфі «крейдяної брили». Це є причиною зростання потенціалу денудаційних процесів і, відповідно, збільшення впливу потоків інфільтраційних вод на карбонатні породи зони вивітрювання.

Обґрунтовано, що на певному етапі розвитку процесу суфозії спостерігається перехід кількісних змін, пов'язаних з усе більшим подрібненням часток карбонатних порід, у якісні – фізичних (суфозійних) процесів у хімічні (карстові).

Ключові слова: геодинамічні процеси, суфозія, карбонатні породи, підземні води, фізичне руйнування, інфільтраційні потоки.

В. Г. Суярко, В. В. Сухов, А. В. Чуєнко. ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ. ЧАСТЬ I. СУФОЗИЯ. Рассмотрены гидрогеодинамические процессы в карбонатных породах мергельно-меловой толщи верхнего мела Святогорской брахиантиклинали. Результатом этих процессов являются явления суффозии и карста. Описаны процессы суффозии – как следствие физического (механического) воздействия подземных вод на карбонатные породы. Охарактеризована возможность определения количественных показателей «твердого стока», образующегося в процессе механического разрушения горных пород и переноса твёрдого минерального вещества подземными водами.

Установлено, что интенсивность суффозии находится в прямой зависимости от объёмов инфильтрационных вод, проникающих в карбонатные горные породы в разные периоды года, и геоморфологических особенностей территории. Развитию этого процесса способствует новая и современная тектоническая активизация Петровско-Кременецкого разлома, которая обуславливает не только поднятие южного крыла Святогорской брахиантиклинали, но и дезинтеграцию карбонатных мергельно-меловых пород верхнего мела. Восходящее тектоническое развитие рельефа ассоциируется с выпуклыми склонами, которые преобладают в рельефе «меловой глыбы». Это является причиной роста потенциала денудационных процессов и, соответственно, увеличения влияния потоков инфильтрационных вод на карбонатные породы зоны выветривания.

Обосновано, что на определенном этапе развития процесса суффозии наблюдается переход количественных изменений, связанных со всё большим измельчением частиц карбонатных пород, в качественные – физических (суффозионных) процессов в химические (карстовые).

Ключевые слова: геодинамические процессы, суффозия, карбонатные породы, подземные воды, физическое разрушение, инфильтрационные потоки.

Формулювання проблеми. Підземні води – активний чинник геодинамічних процесів, наслідком яких, зокрема, є такі явища, як суфозія і карст карбонатних порід. Води, що приймають участь у цих процесах, є переважно інфільтраційними, хоча, за певних обставин, у зонах розривних тектонічних порушень, вони можуть мати глибоке формування і включати глибинні флюїди. Ці води бувають як безнапірними, так і напірними. Вони характеризуються аномальними параметрами хімічного складу, мінералізації, а також інших фізико-хімічних параметрів (рН, Eh та ін.).

Процеси суфозії та карсту, що несуть суттєві загрози будівлям та спорудам, відбуваються, переважно, під дією вод вільного водообміну, горизонти і комплекси яких знаходяться у приповерхневій, порушеній процесами вивітрювання, частині літосфери. Ці води відрізняються високими швидкостями фільтрації і мають безпосередній

зв'язок з денною поверхнею. Інфільтраційні води зони вільного водообміну включають «верховодку», ґрунтові води четвертинних відкладів, а також води, що циркулюють у найбільш вивітрілій верхній частині мергельно-крейдяної товщі верхньої крейди до глибин від 5-10 до 100-150 м, а іноді й більше [11,17]. Великою мірою на зазначені геодинамічні процеси впливають й інші природні фактори (тектонічні, літологічні геоморфологічні).

Підземні води характеризуються двома основними видами геологічної діяльності – фізичною (механічною) та хімічною (розчинною), що, відповідно, обумовлює розвиток у карбонатних породах таких геодинамічних процесів, як суфозія та карст.

Дуже часто і механічна, і хімічна діяльність підземних вод відбувається одночасно. Тому визначення ролі кожного з цих процесів у руйнуванні карбонатних порід потребує польових спо-

стережень, лабораторних досліджень і теоретичних обґрунтувань.

На основі фактичного матеріалу досліджень геодинамічних процесів за участю підземних вод та їх наслідків у породах верхньої крейди на Святогірській брахіантикліналі нами розглянуто особливості суфозії та карсту у карбонатних осадових відкладах. Оскільки підготовлені до друку матеріали є досить об'ємними, їх поділено на дві частини (частина 1 – суфозія, частина 2 – карст), що вийдуть як окремі статті.

Геологічні особливості Святогірської брахіантикліналі. Святогірська брахіантикліналь знаходиться на південному борту Бахмутської уголовини. Мергельно-крейдяні відклади північніше м. Святогірськ відслонюються на правому березі р. Сіверський Донець у вигляді «крейдяної брили», на якій розташований історично-архітектурний комплекс Святогірського монастиря. По відкладах карбону Святогірська брахіантикліналь є асиметричною, а з півдня, півночі і сходу обмежена розривними порушеннями різних напрямків та амплітуд. Найбільшу тектонічну амплітуду (до 1000 м) зафіксовано в зоні Петрівсько-Кремінського глибинного розлому. В плані вона узгоджується з руслом р. Сіверський Донець і крейдяної брилою, на якій розташований монастир. Розривні тектонічні порушення, що відокремлюють структуру з півночі та північного сходу характеризуються відносно невеликими амплітудами – до 20-25 м.

У геологічній будові південного, здійсненого крила Святогірської структури приймають участь мезозойські (юрсько-крейдові) породи, що мають південно-східне падіння під кутом 10-20° та четвертинні відклади.

Верхньоярські породи представлені келовейським, оксфордським, кимериджським та волжським ярусами, які поділяються на два стратиграфічних підрозділи: а) вапнякова товща, що об'єднує породи келовейського та оксфордського ярусів (I_3cl-ox) та б) барвіста піщано-глиниста товща, яка відповідає кимериджському і волжському ярусам (I_3km-v).

Крейдові породи включають відклади нижньої та верхньої крейди. Нижньокрейдюві відклади (K_1) представлено світлосірими каоліністими пухкими пісковиками товщиною до 30 м з прошарками сірих глин (до 20-50 см) і вуглистом детритом.

Верхньокрейдюві породи (K_2), які відслонюються у вигляді «крейдяної брили» представлені мергельно-крейдяною товщею туронського (K_2t) і кон'якського (K_2cn) ярусів та глауконітовими пісками кампанського (K_2cp) ярусу в основі розриву. Над ними залягають карбонатні породи туронського та кон'якського ярусів. Представлені

вони писальною крейдою з рідкими прошарками мергелів і чисельними включеннями темно-сірих та буровато-сірих кременів. Ці породи і складають саму «крейдяну брилу».

Четвертинні відклади представлені жовто-бурими суглинками з прошарками пісків та супісся з включеннями дресви і щебеню, писальної крейди, а також ґрунтовим шаром і штучно-насіпними ґрунтами товщиною 0,3-1,5 м.

Натомість, на зануреному північному крилі складки, на лівому березі р. Сіверський Донець під четвертинними відкладами, представленими ґрунтами, алювіальними пісками, лесоподібними суглинками ($aQ_{IV}-aQ_{III-IV}$) залягають міоценові кварцові піски новопетрівського ярусу (N_1np) та верхньопалеогенові піски і глини берекського (P_3br) та межигірсько-обухівського (P_3mz-ob) ярусів.

Підземні води в межах території досліджень приурочені до водоносних горизонтів і комплексів четвертинних, нижньокрейдювих та юрських відкладів.

Підземні інфільтрогенні (ґрунтові) води четвертинних відкладів знаходяться в еолово-делювіальних утвореннях, що покривають верхньокрейдюву товщу на височинах та у алювії долин Сіверського Донця. Глибина залягання дзеркала вод четвертинних осадів коливається тут від 20-30 см до 0,5-1,5 м. Вони знаходяться у порових колекторах і є безнапірними. Хімічний склад вод – гідрокарбонатний або гідрокарбонатно-сульфатний (кальцієвий, магнієвий) при невисокій (до 1,0-3,0 г/дм³) мінералізації, нейтральній реакції і невеликому вмісті двооксиду вуглецю (до 10,0-30,0 мг/дм³) [9].

Мергельно-крейдяна товща верхньої крейди переважно є водотривкою. Водоносний горизонт сформувався у її верхній тріщинуватій, вивітрілій зоні, товщина якої в районі досліджень коливається від 2-5 до 10-15 м. Коефіцієнти фільтрації в межах території досліджень від 1,2-2,3 м/доб до 10,8-16,7 м/доб [9]. Води безнапірні або слабконапірні, переважно гідрокарбонатного кальцієвого (магнієвого) складу з мінералізацією до 3,0-5,4 г/дм³. В зонах тектонічної тріщинуватості вони часто характеризуються зростанням вмісту йонів хлору, сульфатів, а також натрію. Це свідчить про вірогідну участь у живленні водоносного горизонту верхньої крейди вод глибоких горизонтів.

Нижче залягає водоносний комплекс піщаних верхньокрейдювих та юрських відкладів, водоносними породами якого є піски та пісковики, а водоупорами – глини. Води мають напірний характер. Живлення їх відбувається як за участі залягаючих вище водоносних горизонтів, так, значною мірою, і за рахунок підземних вод триа-

су та палеозою, що розвантажуються по розломно-тріщинних зонах. Останнє, ймовірно, є причиною того, що на фоні холодних, нейтральних гідрокарбонатно-сульфатних вод змішаного катіонного складу на окремих ділянках, на глибині до 100-150м, виявляються субтермальні (більше 15-20°C), лужні (рН > 7,8) хлоридні натрієві або сульфатно-хлоридні натрієві кальцієві (магнієві) води підвищеної (до 10,2 г/дм³) мінералізації [17].

Викладення основного матеріалу. Історичний розвиток геологічних структур регіону постійно супроводжується фізичною діяльністю підземних вод, яка включає: 1) механічне руйнування гірських порід інтенсивними потоками вільних гравітаційних вод; 2) перенесення різних за розмірами (від 1-2 мм і більше до суспензій) часток інфільтраційними водами; 3) перевідкладення мінеральної речовини порід фільтраційними водними потоками. Ці процеси, що об'єднуються поняттям «твердий стік», можуть відбуватися одночасно і призводять до такого поширеного геодинамічного явища як суфозія.

Явище суфозії розглядається у роботах багатьох дослідників. Проте сутність цього процесу іноді висвітлюється з різних, часом протилежних, позицій [3,5,6,7,10 та ін.]. Так, існує думка, що суфозія – результат вилуження розчинної речовини гірських порід підземними водами. Але ж у такому випадку – це хімічний процес, що визначає карстоутворення. Через це й виникла необхідність у чіткому визначенні поняття суфозії, яка, на нашу думку, є *геодинамічним наслідком фізичної геологічної діяльності підземних інфільтраційних вод, що супроводжується фізичним (механічним) руйнуванням гірських порід (мінералів) з формуванням «твердого стоку»*.

Таким чином, твердий стік формується у разі фізичного руйнування та перенесення мінеральних часток водами, що течуть. Хоча основним видимим агентом твердого стоку є поверхневі (особливо – річкові) води, підземні води також відіграють величезну роль у вільному перенесенні різних за величиною часток гірських порід. Особливо це стосується карстових, тріщинних та ґрунтових вод. Процеси суфозії з утворенням підземного твердого стоку найчастіше відбуваються у зоні аерації.

На території досліджень твердий стік формується, головним чином, за рахунок вивітрілих карбонатних порід верхньої крейди та четвертинних ґрунтів, що їх перекривають [10], а також палеогенових та неогенових піщано-глинистих відкладів, які вміщують гігроскопічну, плівкову, капілярну вологу і повітря. Присутність гравітаційної води пов'язана тут з гідрометеорологіч-

ними особливостями регіону і корелюється з періодами розтавання снігу та дощів [2].

Явище твердого стоку неодноразово спостерігалось нами в умовах виходів крейдяних порід на правому березі р. Сіверський Донець [6,8]. Водопровідність порід у річкових долинах є значно більшою у порівнянні з вододільними площами. З величин, записаних у вигляді значень опорів, можна визначити відомий критерій Боचेвера (B_c): $B_c = \frac{T_g \cdot x_0}{T_0 \cdot x_g}$, що характеризує водонасиченість порід, яка має пряме відношення до формування твердого стоку і може бути розрахована за відомими формулами. У кожному конкретному випадку це дозволяє розробити ефективні заходи із запобігання руйнівного впливу суфозії на будівлі та споруди.

Найважливішим показником твердого стоку є його модуль, який розраховується на основі даних моніторингу [6]:

$$M_{тс} = \frac{Q_{тс}}{F}, \text{ де:}$$

$M_{тс}$ – модуль твердого стоку, $m/рік \cdot км^2$; $Q_{тс}$ – річний твердий стік, m ; F – площа водозбору, $км$. Слід зазначити, що модуль твердого стоку найпростіше розраховується для водоносних горизонтів, що розвантажуються у річкову мережу [4].

Показником фізичної (механічної) роботи підземних вод є просторово-часовий розподіл та динамка формування твердого стоку. Дослідження його дозволяє кількісно охарактеризувати інтенсивність такого важливого геологічного процесу, як механічна ерозія. Модуль твердого підземного стоку характеризується різними значеннями в залежності від кліматичних, геоморфологічних, структурно-тектонічних, літологічних, гідрогеологічних та деяких інших особливостей території досліджень.

За нашими спостереженнями, об'єми твердого підземного стоку різко зростають у періоди дощів (осінь) та розтавання снігу (весна). Одним з основних факторів формування твердого підземного стоку є також геоморфологічний. Спостерігається пряма залежність між різкістю форм рельєфу та інтенсивністю проявів цього процесу [13], а також з розвитком тектонічної тріщинуватості. Останнє є характерним для мергельно-крейдяної товщі нижньої крейди суттєво впливає на швидкість і силу гідро геодинамічних процесів в руслі р. Сіверський Донець. Різні за розмірами фрагменти карбонатних порід, які не встигають розчинитися, виносяться по тріщинах турбулентними потоками підземних вод (у тому числі і з осередків карстоутворення) у вигляді механічних часток різних розмірів. Таким чином, на фоні суфозії спостерігається і явище карстоутворення [14].

Суфозія спричиняє просідання вищезалюгаючої товщі порід. Це зазвичай призводить до утворення на поверхні замкнених низовин (мікрозападин, блюдць, воронки), які у породах нижньої крейди характеризується діаметрами від 0,5-1,0 м до 10,0-15,0 м і глибиною від 5,0-10,0 см до 50-100 см. Такі суфозійні (фільтраційні) форми нагадують карстові, але нічого спільного з карстом на мають.

Суфозійні явища великих масштабів і пов'язані з ними процеси формування поверхневих депресій великого діаметру (до 100 м) відомі в регіоні на терасах обох берегів Сіверського Донця [1]. Утворення таких геоморфологічних форм може бути пов'язане, зокрема, з інтенсивною інфільтрацією атмосферних опадів у зону вільного водообміну внаслідок недостатньої дренаваності площі водозбору [7]. Суфозійний винос речовини можна розглядати виключно як один з видів фільтраційного руйнування порід та заповнення пор, тріщин і порожнин у щільних теригенних товщах пісковиків (кальматація) [6]. Проте цей процес має значно ширше розповсюдження, проявляючись також і у пухких відкладах (піски, леси, суглинки та ін.), які у вигляді покривних товщ розвинуті практично на усій території розповсюдження порід верхньої крейди у ДДЗ.

Суфозія може відбуватися у глибині масиву гірських порід і без виносу їх часок на земну поверхню. Це так звана «підземна суфозія». Процес часто проходить за умов, коли пухкі відклади, що зазнають суфозійного впливу (піски, суглинки, леси), підстилаються закарстованими карбонатними породами. Це явище на території досліджень спостерігається на тих схилах р. Сіверський Донець, де пухкі кайнозойські відклади, що представлені пісками, супесями, суглинками та лесоподібними осадами залюгають на мергельно-крейдяній товщі верхньої крейди у якій відбуваються карстові процеси. Так, за нашими спостереженнями, великі карстово-суфозійні поховані воронки є як у районі Святогірського монастиря і с. Богородичне, що знаходиться у 800-1200 м вище за течією, так і на крейдяній горі Кремінець на південній околиці м. Ізюм. Тут четвертинні ґрунти, піски та суглинки у яких відбуваються процеси суфозії, також підстилаються закарстованими верхньокрейдювими мергельно-крейдяними відкладами.

Наповнення похованих карстових порожнин продуктами суфозії може бути дуже інтенсивним. Внаслідок взаємодії двох генетично різних геодинамічних процесів, формуються депресивні екзогенні геологічні структури, що заповнені підземними водами. Механізм цього явища полягає у зміні форми, структури і складу порід під дією

факторів геологічного вивітрювання з подальшим пристосуванням їх до нових термодинамічних умов, що склалися під впливом інфільтраційних та підземних вод. При цьому подрібнення гірських порід (а разом з ними і речовини будівельних конструкцій) аж до пилюватих часток, різко збільшує загальну поверхню дотику їх з водою, що у свою чергу може започаткувати процеси хімічного вивітрювання [14].

Таким чином, на певному етапі розвитку суфозії спостерігається перехід кількісних змін, пов'язаних з усе більшим подрібненням мінеральних часток карбонатних порід у якісні – суфозійних процесів у карстові, що цілком відповідає одному з основних законів природи про перехід кількісних змін у якісні. В процесі зазначених перетворень у мергельно-крейдяній товщі верхньої крейди утворюються специфічні геоморфологічні форми, які можна віднести до суфозійно-карстових [10]. Останні мають широке розповсюдження в карбонатних породах у районі Святогірського монастиря.

Інфільтрація атмосферних опадів у четвертинні ґрунти та тріщинувату зону мергельно-крейдяної товщі верхньої крейди призводить на території досліджень до різких змін у масиві карбонатних порід. Це є основним фактором їх геологічного вивітрювання і дезінтеграції у верхній її частині, забезпечуючи формування тріщинного горизонту підземних вод [9].

Суфозія може бути інтенсивною лише за умови структурної неоднорідності водоносних відкладів. Ця неоднорідність оцінюється відповідним коефіцієнтом (K_n) [10]:

$$K_n = d_{60}/d_{10}, \text{ де}$$

K_n – коефіцієнт неоднорідності порід;
 d_{60} – діаметр часток у породі (ґрунті), кількість яких складає ~60%;

d_{10} – діаметр часток, сумарний вміст яких складає ~10%.

На території досліджень така неоднорідність обумовлюється наявністю як крейдяного елювія так і четвертинних піщано-глинистих ґрунтів, для яких $K_n > 4$.

Утворюючи зону вільного водообміну товщиною до 3,0-10,0 м, ґрунти і вивітрілі карбонатні породи сприяють розвитку тут інтенсивних суфозійних процесів. Водні потоки, що циркулюють з великими швидкостями (до 10,0-15,0 л/с) є їх головною енергетичною складовою, що призводять до появи різних за масштабами деформацій у самій «крейдяній брилі».

Суфозійні процеси у мергельно-крейдяній товщі – не лише причина її поверхневої денудації, а й основний фактор сучасного збільшення тріщинуватості і порожнинності порід. Результатом цього є збільшення в них водообміну, що

обумовлює активну взаємодію між інфільтраційними водами та гірськими породами. При цьому як швидкості циркуляції, так і хімічний склад вод значно змінюються через хімічні реакції у системі «інфільтраційні води – карбонатні породи».

В процесі польових досліджень нами проводився моніторинг з визначення динаміки розвит-

ку суфозії в мергельно-крейдяній товщі. Зокрема, у різні періоди року, (весною, літом, восени та зимою) з урахуванням даних про кількість атмосферних опадів та об'єм винесеної потоками інфільтраційних вод мінеральної речовини побудовано графік, що відображає сезонну динаміку залежності між інфільтраційним водообміном та інтенсивністю суфозійних процесів (рис. 1).

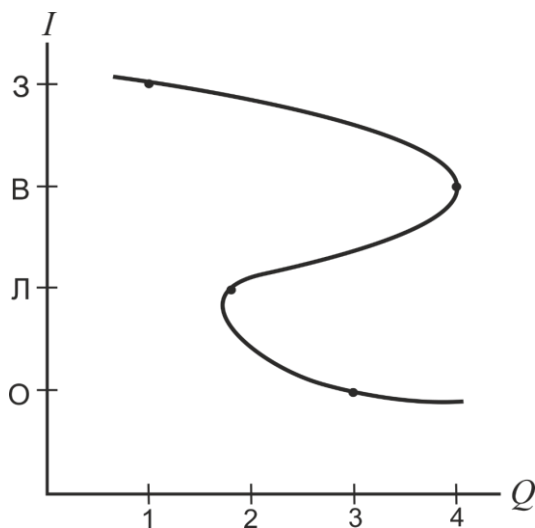


Рис. 1. Сезонна динаміка розвитку суфозійних процесів у верхньокрейдяних карбонатних породах «крейдяної брили»

Умовні позначення:

I – сезонне інфільтраційне живлення ґрунтів та зони вивітрювання порід верхньої крейди у різні пори року (З – зима, В – весна, Л – літо, О – осінь); Q – умовний об'єм сезонного твердого стоку.

Особливості рельєфу суттєво впливають на характер та спрямованість різних геодинамічних процесів, включно із суфозією. Геоморфологічні особливості визначають енергетику і швидкості фільтраційних водних потоків, що обумовлюють інтенсивність фізичного руйнування гірських порід у зоні вивітрювання [13].

Суфозійні процеси розвиваються на території «крейдяної брили» на фоні періодичної тектонічної активізації Петрівсько-Кремінського розлому [16]. Це пов'язано не лише з дезінтеграцією порід у масиві але й зі здійсненням Святогірської брахіантиклиналі у сучасний період. Висхідний тектонічний розвиток рельєфу асоціюється із опуклими схилами, які суттєво переважають і у рельєфі «крейдяної брили». Це обумовлюється збільшенням енергетичного потенціалу денудаційних процесів і, відповідно, збільшенням впливу інфільтраційних вод на карбонатні породи зони вивітрювання [15].

Про інтенсивні суфозійні процеси в межах Святогірського монастиря свідчать схили, що позбавлені рослинності та ґрунтового покриву, свіжі донні врізи поверхневих потоків та пов'язані з ними невеликі конуси винесення у

місцях виположення біля руслової частини р. Сіверський Донець.

Розвитку процесів суфозії карбонатних порід мергельно-крейдяної товщі сприяє тонкий (до 0,3-0,5 м) шар четвертинних ґрунтів та піщано-глинистих відкладів на верхній (субгоризонтальній) частині брили. Тому суфозійна діяльність поверхневих, а у зоні вивітрювання – і підземних вод прослідковується повсюдно [18].

Серед форм рельєфу, що утворилися завдяки суфозії, на території досліджень виділяються дві основні: яри та вимоїни (воронки). Зовнішній їх вигляд та присутність або повна відсутність рослинності на схилах свідчать про те, що ці суфозійні утворення, що характеризуються різним ступенем активності, знаходяться на різних стадіях розвитку. Якщо яри є сучасними геодинамічними формами, то вимоїни – переважно значно старішими утвореннями [12].

Формування суфозійних форм рельєфу відбувається як поверхневими, так і підземними потоками води. Дослідження, проведені під час дощових злив та весняних повенів на денній поверхні «крейдяної брили» дозволило нам встановити, що потоки води, руйнуючи та розмиваючи карбонатні породи, виносять з них не лише су-

спензійні пилуваті глинисті частки діаметром менше 0,005 мм та крейдянну дресву розмірами від 1,0 до 10,0 мм, а й дрібну (до 25,0 мм), середню (до 50,0 мм) і крупну (до 100,0 мм) крейдянну щєбінку. Інколи з такими потоками переміщуються вниз по схилу і набагато більші за розмірами уламки породи. Усі ці продукти руйнування активно накопичуються у різних тріщинах і поглибленнях, більша частина з яких є древніми суфозійними формами.

Інтенсивний розвиток підземної ерозії (суфозії) забезпечується в основному, екзогенними, і меншою мірою – літогенними тріщинами. Тектонічна тріщинуватість «крейдяної брили» за нашими спостереженнями майже не впливає на суфозійні явища. Як відкриті, так і заповнені уламковим матеріалом тріщини є головними каналами фільтрації підземних вод. Про сучасну активність процесу підземної ерозії свідчать суфозійні канали, які виявлено при обстеженні порід верхньокрейдової карбонатної товщі. На це вказують і сліди затікання насиченого гумусом матеріалу ґрунтів у тріщини, що можна спостерігати у багатьох субвертикальних суфозійних каналах крутого мергельно-крейдяного відслонення [18].

Геоморфологічним проявом сучасної суфозії у верхньокрейдовій карбонатній товщі є морфологічно молоді чашеподібні форми, у днищах яких інколи виявляються і водовідвідні канали.

Ерозійна енергія рельєфу залежить від глибини базису ерозії (яка сягає на території досліджень 100-120 м) та форми схилу. Крутіший схил забезпечує не лише інтенсивніший підземний стік, а й зростання його енергетичної сили [6].

Південні та північні схили відрізняються за інтенсивністю суфозійних процесів – на південних вони бувають значно інтенсивнішими [19]. Тому північна експозиція як відслонення крейдяної брили, так будівель і споруд Святогірського монастиря сприяють зменшенню енергетики руйнівних суфозійних процесів.

Висновки.

1. Підземні води – активний чинник геодинамічних процесів, одним із наслідків яких є суфозія карбонатних порід, яка є проявом фізичної діяльності підземних інфільтраційних вод. Вона проявляється у механічному руйнуванні гірських порід з формуванням поверхневого і підземного «твердого стоку». Останній утворюється внаслідок перенесення підземними водами мінеральних часток у зоні вільного водообміну. Найважливішим показником «твердого стоку», а отже й інтенсивності суфозії, є його модуль, що залежить від параметрів кінематичних та геологічних особливостей суфозійних процесів. Суфозія може відбуватися як у приповерхневій зоні вивітрювання, так і у глибині масиву гірських порід без виносу механічних продуктів їх руйнування на денну поверхню («підземна суфозія»).

2. Встановлено, що інтенсивність процесів суфозії прямо залежить від об'єму інфільтраційних вод у різні сезони року та геоморфологічних особливостей території. Найбільшого розвитку вони досягають весною та восени – за найактивнішого інфільтраційного живлення ґрунтів і вивітрелих порід і у місцинах з різкими формами рельєфу. Новітня та сучасна тектонічна активізація Петрівсько-Кремінського розлому обумовлює висхідний розвиток рельєфу південного крила Святогірської брахіантиклінали, результатом якого є зростання енергетичного потенціалу денудаційних процесів і, відповідно, інтенсифікації суфозії.

3. Протягом всього розвитку суфозійних процесів спостерігається подрібнення карбонатних порід на все менші й менші мінеральні частки (аж до суспензій), що, за певних фізико-хімічних умов, обумовлює перехід кількісних змін в системі «карбонатні породи–підземні води» в якісні – фізичних (суфозійних) процесів у хімічні (карстові), що цілком відповідає одному з основних законів природи про перехід кількісних змін у якісні.

Література

1. Веригин, Н. Н. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах / Н. Н. Веригин, Б. С. Шерзжук. – В кн. : Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917-1967). – М. : Наука, 1969. – 237–313 с.
2. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водообмена / В. М. Шестопалов, А. Б. Ситников, В. И. Лялько и др. Отв. ред. В. М. Шестопалов. – Изд. ИГН АН УССР. – Киев : Наук. думка, 1988. – 272 с.
3. Гірничий енциклопедичний словник. Т. 2 / За редакцією В. С. Білецького. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2002. – 632 с.
4. Демчишин, М. Г. Інженерно-геологічні умови в долинах рівнинних рік / М. Г. Демчишин, О. М. Анацький // У зб. «Будівельні конструкції». – К. : НДІБК. – 2008. – Кн. 1, вип. 71. – С. 156-164.
5. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1978. – 496 с.
6. Лопатин, Г. В. Эрозия и сток наносов / Г. В. Лопатин // Природа. – 1950. – №7. – С. 19-28.

7. Луговой, В. П. Особенности развития суффозионных явлений на территории с интенсивной техногенной нагрузкой / В. П. Луговой, Ю. С. Остапенко, С. М. Жулин, В. В. Сухов // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія–Географія–Екологія». – 1999. – № 455. – С. 65-72.
8. Луцкич, А. В. Формирование режима подземных вод в районах развития активных геодинамических процессов / А. В. Луцкич, Г. В. Лисиченко, Е. О. Яковлев. – К. : Наукова думка, 1988. – 164 с.
9. Методические рекомендации по применению гидрогеохимического метода поисков скрытого оруденения в Донбассе и Днепроовско-Донецкой впадине / В. Г. Суярко. – Симферополь : Изд-во ИМП МГ УССР, 1985. – 92 с.
10. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах / Е. В. Пиннекер, Б. И. Писарский, С. Л. Шварцев и др. – Новосибирск : Наука, 1982. – 239 с.
11. Соколов, А. Д. Закономірності тріщинуватості крейдяних порід долини р. Сіверського Донця / А. Д. Соколов //Доповіді АН УССР, №7. – К. – 1963. – С. 937-940.
12. Сухов, В. В. Инженерно-геологические изыскания в связи с охраной архитектурных памятников в особо сложных природно-техногенных условиях Украины / В. В. Сухов, В. Г. Суярко // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія – Географія – Екологія». – 2009. – № 882. – С. 58-64.
13. Сухов, В. В. Инженерно-геологические и гидрогеологические факторы влияния на стабильность историко-архитектурных памятников / В. В. Сухов // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія – Географія – Екологія». – 2012. – № 997. – С. 73-76.
14. Сухов, В. В. Про особливості суфозії карбонатних порід / В. В. Сухов, В. Г. Суярко, О. В. Чуєнко // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2016. – Вип. 45. – С. 74-79.
15. Сухов, В. В. Про зв'язок сучасних геодинамічних процесів у карбонатних породах з тектонічною активізацією Петрівсько-Кремінського розлому / В. В. Сухов, В. Г. Суярко, О. В. Чуєнко // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2017. – Вип. 46. – С. 56-61.
16. Суярко, В. Г. О современной активизации древних гидротермальных систем / В. Г. Суярко, О. А. Шевченко // Горный журнал ДНТУ. – Донецк – 1996. – № 2(4). – С. 95-97.
17. Суярко, В. Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепроовско-Донецкого авлакогена / В. Г. Суярко. – Харьков : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2006. – 225 с.
18. Суярко, В. Г. Концептуальна синергетична геолого-гідрогеологічна модель розвитку суфозії та карсту у карбонатних породах на території Святогірського монастиря / В. Г. Суярко, В. В. Сухов // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2015. – № 1157. – С. 63-68.
19. Fournier, F. Climatet erosion / F. Fournier. – Press Universitaires de France. – Paris, 1960. – 120 p.
20. Moffat, R. Hydromechanical model for internal erosion and its relationship with the stress transmitted by the finer soil fraction / Ricardo Moffat, Paulo Herrera // Acta Geotechnica, 2015. – Springer Heidelberg, Germany. – Vol. 10, 5. – P. 643-650. DOI: 10.1007/s11440-014-0326-z
21. Slangen, P. The role of particle type on suffusion and suffusion / P. Slangen, R. J. Fannin // Geotechnique Letters, 2017. – Ice Publishing: England –Vol. 7, 1. DOI: 10.1680/jgele.16.00099
22. Slangen, P. A Flexible Wall Permeameter for Investigating Suffusion and Suffosion / P. Slangen, R. J. Fannin // Geotechnical Testing Journal, 2017. – Amer Soc Testing Materials, USA. – Vol. 40, 1. – P. 1-14. DOI: 10.1520/GTJ20150287
23. Ouyang, M. Optical quantification of suffusion in plane strain physical models / M. Ouyang, A. Takahashi // Geotechnique Letters, 2017. – Ice Publishing: England –Vol. 5, 3. – P. 118-122. DOI: 10.1680/geolett.15.00038