

ОСАДОВІ ФОРМАЦІЇ: КОРИСНІ КОПАЛИНИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ / ОСАДОЧНЫЕ ФОРМАЦИИ: ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 552.14(551.243.4+537.8)

М. В. Бублясь, В. М. Бублясь

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТРУМІВ І МІКРОГЕОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЛІТОГНЕЗ ПОКРИВНИХ ВІДКЛАДІВ

M. V. Bubljas, V. M. Bubljas

IMPACT OF NATURAL ELECTRIC CURRENTS AND MICRO-GEODYNAMIC PROCESSES ON THE LITHOGENESIS OF COVERING DEPOSITS

Розглянуті питання впливу мікрогеодинамічних і електрогеодинамічних процесів на літогенез покривних відкладів. За результатами експериментальних досліджень були встановлені особливості впливу природних електричних струмів на геохімічні процеси і генетичний зв'язок між характером змін електричних струмів по розрізу з літологічними горизонтами зони аерації.

Ключові слова: електрогеодинаміка, мікрогеодинамічні зони, зона аерації, літогенез, новоутворення, електроліз.

Рассмотрены вопросы влияния микрогеодинамических и электрогеодинамических процессов на литогенез покровных отложений. По результатам экспериментальных исследований были установлены особенности влияния природных электрических токов на геохимические процессы и генетическая связь между характером изменения электрических токов по разрезу с литологическими горизонтами зоны аэрации.

Ключевые слова: электрогеодинамика, микрогеодинамические зоны, зона аэрации, литогенез, новообразования, электролиз.

The paper considers questions of micro-geodynamic and electro-geodynamic processes influence on the lithogenesis of covering deposits. Using the experimental research results, the character of influence of natural electric currents on the geochemical processes and the regular relation between specific features of electric currents and the lithogenetic horizons of rocks in the aeration zone were revealed.

Keywords: electro-geodynamics, micro-geodynamic zones, aeration zone, litogenesis, neoformations, electrolysis.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

З'ясування факторів формування осадових порід — одна з основних задач літології. На сьогодні питання природи так званих генетичних горизонтів і новоутворень у покривних відкладах досліджені ще далеко не повною мірою. У нині існуючій схемі формування певних прошарків і горизонтів з нового мінералогічного матеріалу залишаються поза увагою питання причин їх розміщення на фіксованих глибинах. Не менше запитань викликають результати огляду наявних наукових робіт з природи концентрованого (фрагментарного) регіонального розвитку різного роду новоутворень. Вони мають чітку латеральну і глибинну прив'язку, на природу якої не існує однозначних поглядів. Особливо багато запитань до генезису значних концентрацій різного роду конкрецій, ортзандів, ортштейнів, де кількість накопичених елементів і мінералів в декілька разів перевищує їх вміст в оточуючих (фонових) породах, а також прошарків концентрації і вилуговування певних елементів, які закономірно чергуються.

Метою дослідження було встановлення залежності впливу статичних електричних струмів, що генеруються геосферою (атмосферою і літосферою), на літогенез покривних відкладів на прикладі мікрогеодинамічних зон, де коливання величин електричних потенціалів значно вищі, ніж на фонових ділянках.

МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ І ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ
За існуючою сьогодні класичною схемою міграція високорухомих складових геологічного середовища в умовах покривних відкладів підпорядковується ландшафтно-геохімічним закономірностям і пов'язана з властивостями клімату, рельєфу, характером процесів вивітрювання, ґрунтоутворення, особливостями розвитку біологічного комплексу. Всі ландшафтні і геологічні компоненти перебувають в певному парагенетичному зв'язку. Тобто складають гетерогенну фізико-хімічну геодинамічну систему. Природно, що властивості такої системи визначаються співвідношенням і активністю дії окремих її компонентів. В результаті їх впливу відбуваються процеси фізико-хімічного вивітрювання

первинних і формування вторинних мінералів. Серед фізико-хімічних процесів, що впливають на діагенез порід, найбільш суттєвими є гідроліз, розчинення і окиснення-відновлення.

В основі *гідролізу* лежить хімічна взаємодія між частинками породи і водою, що приводить до з'єднання окремих складових води з окремими складовими певних мінералів. Частина води в породах під впливом температури, випромінювання радіоактивних елементів, електричного струму, певних хімічних реакцій дисоціює на кисень і водень. Відомо, що іони водню легко проникають в кристалічні решітки багатьох мінералів і розривають їх шляхом взаємодії з катіонами (переважно K^+ , Na^+ , Ca^{2+}). Найбільш активно гідроліз відбувається із силікатами і алюмосилікатами. Крім цього, даний процес приводить до збільшення від'ємного заряду в решітці кристалу кремнезему, що підвищує активність іонів водню. Проникнення іонів водню в решітку алюмосилікатів створює із киснем у вершинах тетраєдрів міцну OH^- групу і розриває кисневі зв'язки алюмінію з кремнієм $Si^+ - O - Al^{3+}$ з утворенням нового мінералу, вільного кремнезему (часто аморфного) і винесенням алюмінію у розчин [5].

Процес *розчинення* відбувається за схемою першої стадії гідролізу — руйнування первинних мінералів, а перехід окремих елементів у розчин відбувається під впливом теплових потоків. Теплова енергія часто виділяється в результаті гідратації твердої фази порід. При збільшенні температури підсилюються коливальні рухи молекул в кристалічній решітці, що послабляє сили іонних зв'язків. Розчиненню часто сприяють процеси дифузії іонів легкорозчинних мінералів як в порових розчинах, так і в поровому повітрі під впливом різниці їх концентрації в різних ділянках порід. Рівень розчинення мінералів з іонним типом зв'язків визначається енергією кристалічної решітки. Енергія зростає із підвищенням валентності іонів і зменшенням іонних радіусів. Крім того, розчинність ряду солей, особливо карбонатів, в породі залежить від вмісту в порових розчинах CO_2 . Розчинення карбонатів у вуглекислих водах відбувається за схемою:



в результаті чого утворюється легкорозчинний бікарбонат кальцію [6].

До суттєвого фактора хімічного перетворення порід відносяться і окиснювально-відновні

процеси. Якщо процеси гідролізу і розчинення відбуваються переважно з простими речовинами, що входять до складу порід, то процеси окиснення-відновлення направлені на взаємодію із складними речовинами, в яких хімічні зв'язки не симетричні, а, як правило, іонні і полярні ковалентні. В іонних зв'язках нерівномірність розподілу електронів між атомами складної речовини максимальна. Нерівномірність розподілу електронів між атомами речовин отримала назву *окисненості*.

Реакції окиснення-відновлення завжди відбуваються одночасно. В них одні речовини втрачають електрони (окиснюються), а інші приєднують (відновлюються). В загальному вигляді реакцію окиснення-відновлення можна представити так:



де Ox — окисник, Red — відновник, ne^- — число електронів.

Частина окисно-відновних реакцій мають зворотний, а частина, незворотний характер. Як правило, до незворотних належать переважно реакції окиснення органічних речовин, а до зворотних — окиснення-відновлення ряду металів (заліза, марганцю, алюмінію тощо). Для кількісної оцінки окисно-відновних реакцій користуються окисно-відновним потенціалом (Eh), який вимірюється у мілівольтах. Потенціал такої системи дорівнює:

$$Eh = E_0 + RT/nF \cdot \ln \cdot a_{Ox}/a_{Red},$$

де E_0 — стандартний потенціал системи, що визначається її активністю (a_{Ox}/a_{Red}); R — універсальна газова постійна (Дж); T — абсолютна температура (К); F — постійна фарадея (Кл), яка дорівнює затраті 96 485 кулон на електрохімічне перетворення 1 еквівалента речовини [8]; величина RT/nF показує зв'язок Eh із термічними і електричними полями.

В ґрунтах зони аерації роль сильних окисників часто виконують O_2 , Cl_2 , MnO_4^- , а роль відновників — H^+ , Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Fe^{2+} [4]. Основним окисником в породах слугує молекулярний кисень порового повітря і порових розчинів, що надходить з атмосфери. Створення відновної обстановки обумовлено в основному надходженням продуктів анаеробного розпаду органічних речовин і життєдіяльністю мікроорганізмів (мікроорганізми поглинають вільний кисень, створюючи відновну обстановку).

Швидкість хімічних перетворень порід може суттєво змінюватися не тільки під впливом речовин-каталізаторів (яскравий приклад — наявність CO_2), але і під дією зміни температури і електричних струмів. Розчинність більшості мінералів дещо підвищується при збільшенні температури, хоча ця залежність в різних мінералів проявляється по-різному. Так, розчинність ряду солей (NaCl , CaCO_3 тощо) при зростанні температури збільшується, а розчинність ангідриду (CaSO_4) зменшується, тоді як розчинність гіпсу до 40°C підвищується, а потім знижується [5].

Теоретичні основи названих вище процесів на сьогодні мають досить високий рівень вивченості. Меншої уваги геологічна наука приділила впливу електричних струмів, генерованих атмосферою і літосферою, на літогенез. Розглянуті вище процеси під впливом природних електричних струмів можуть підвищувати свою активність у декілька разів і змінювати їх напрямки. Процеси впливу електричних струмів на тверду і рідку фази порід називають *електролізом*. Якщо в породах покривних відкладів (на певних ділянках) протікає електричний струм, то це свідчить про нерівноважний електродинамічний стан між окремими ділянками у вертикальному або горизонтальному напрямку. Дія електрики на літогенез відбувається за декількома напрямками: 1) при класичному електролізі на від'ємному електроді (катоді) йдуть процеси відновлення ($\text{Fe}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$), а на додатному електроді (аноді) — реакції окиснення ($4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$); 2) крім окисно-відновних реакцій при електролізі водних розчинів протікають процеси дисоціації молекул води на іони H^+ і OH^- , які в свою чергу активізують процеси розчинення, окиснення і відновлення певних складових порід; 3) під впливом електричного струму підсилюється активність дипольних і полярних молекул шляхом зміщення електронів в бік більш енергетично сильних ядер атомів; 4) наступним важливим напрямом є транспортна роль електричних і електромагнітних полів для іонів і полярних молекул.

Вивчення ролі електричних струмів у літогенних процесах покривних відкладів субаерального походження виконано на підставі аналізу даних фундаментальних досліджень геохімічних процесів і експериментальних дослідних робіт в натурних умовах [1, 2]. Вплив мікрогеодинамічних зон на геохімічні процеси проводився на постійно діючому полігоні Лютіж, що пред-

ставляє западинну морфоскульптуру і фонову ділянку.

Експериментальні дослідження комплексу компонентів, які формують природні ландшафтні системи, дозволили виявити нові фактори енергомасообміну в покривних відкладах рівнинних територій. До основних з них належать електричні струми, що формуються в атмосфері і літосфері, які знаходяться в постійному стані енергообміну. Було встановлено, що здебільшого на значні переміщення порових розчинів у висхідному і низхідному напрямках впливають електричні потенціали, які генеруються під впливом: 1) сонячної радіації протягом доби; 2) електричних полів, збуджених фронтальними, різними за температурою, повітряними масами у приземній атмосфері; 3) електричних струмів, генерованих геологічним середовищем — тектонічними рухами, ротаційними силами і різноманітними геохімічними процесами [1].

В методиці дослідження були задіяні роботи з виявлення особливостей структури і текстури порід, характеру руху вологи, що надходить з атмосфери, вивчення складу порових розчинів і їх зміни по профілю, ступеня трансформації порід у межах мікрогеодинамічної зони щодо фонові ділянки, зміни сили електричного струму на різних глибинах зони аерації, що відображає величину переміщеної вологи (рідкої і пароподібної) і вільних іонів у породах.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

В останні роки було встановлено, що в літогенних процесах велике значення мають електричні струми, генеровані атмосферою і літосферою. Крім того, особлива увага була приділена ділянкам з підвищеними геодинамічними процесами (мікрогеодинамічними зонам). В цих специфічних геологічних об'єктах фіксуються високі (порівняно із фоновими) потенціали електричного струму, який є домінуючим фактором у геохімічних процесах та перерозподілі певних елементів. В результаті дії електричних струмів відбувається диференціація розрізу на літогенетичні горизонти. В одних горизонтах простежується високий рівень хімічного вивітрювання мінеральної складової (не рідко силікатів) та явні сліди вилуговування, про що свідчить наявність в породах аморфного SiO_2 і відсутність легкорозчинних солей, а в інших горизонтах чітко виражені асоціації колоїдних плівок, локальні стягіння і наявність солей.

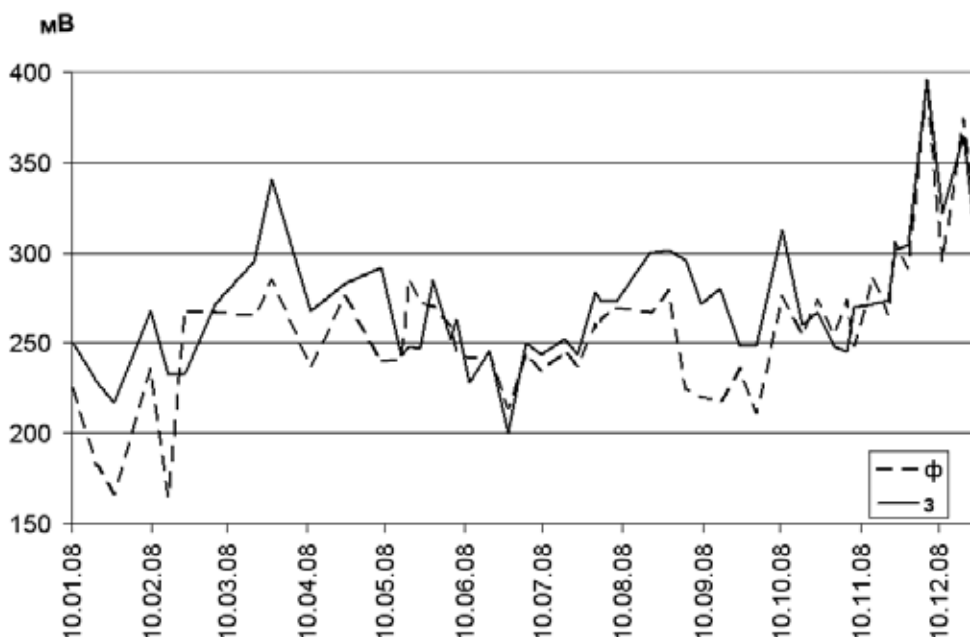


Рис. 1. Зміна значень редокс-потенціалу (Eh) в ґрунтових водах, відібраних з режимних свердловин фонові ділянки і западинної форми полігону Лютіж у 2008 р.

Як уже відмічалось, на процеси окиснення-відновлення великий вплив має редокс-потенціал (Eh), зміна якого відображає характер певних хімічних перетворень. В процесі дослідних робіт режимні спостереження за зміною Eh проводились переважно у ґрунтових водах. В порових водах даний показник з технічних причин вимірювався фрагментарно. Але з цих даних можна зробити висновок, що рівень коливання Eh в порових розчинах значно вищий, ніж у ґрунтових водах. Так, максимальний рівень річного коливання Eh у ґрунтових водах у 2008 р. на фоновій ділянці становив 250 мВ, а в порових розчинах перевищив 350 мВ. Порівнюючи ці дані із западинною формою (рис. 1), яка характеризується більшою вологістю, видно, що в ґрунтових водах западини амплітуда коливання цього показника сягає тільки 200 мВ. Здебільшого Eh в ґрунтових і порових водах западинної форми вищий від фонових, хоча за логікою розвитку процесів у даній специфічній морфоскульптурі повинні бути протилежні значення. Западинна морфоскульптура є місцевим базисом ерозії, куди поверхневим стоком привноситься велика кількість органічної речовини (обчислюється тоннами у рік), на окиснення якої необхідна велика кількість речовин-окиснювачів. За результатами дослідних робіт було встановлено, що на коливання величин Eh в порових і ґрунтових водах впливають електричні та електромагнітні поля. Судячи

з того, що в западинній формі електричні складові здебільшого перевищують фонові значення, то і величини Eh у западині вищі. Порівнюючи середньорічні показники Eh і напруженість електромагнітного поля приземної атмосфери (E) за 2008 і 2010 рр. була встановлена певна залежність: у 2008 р. Eh фонові ділянки становило 273 мВ, западинної форми — 258 мВ, а E — 218 Вм; у 2009 р. Eh — 249 мВ, 227 мВ, E — 107 Вм; у 2010 р. Eh — 218 мВ, 180 мВ, E — 22 Вм.

Із даного аналізу випливає, що в породах мікрогеодинамічних зон маса іонів (внаслідок привнесення із водозбірної площі) більша, ніж на фоновій ділянці. Під впливом електричних і електромагнітних полів іони збільшують свій електричний потенціал. Крім того, в даних умовах більш інтенсивно відбувається дисоціація молекул води на H^+ і OH^- , які активізують геохімічні процеси.

Відомо, що короткострокові (добові), середньострокові (сезонні) і довгострокові (річні) ритми надходження сумарної енергії на земну поверхню виконують певну роботу, що відповідає кожному ритму. Крім того, в межах кожного ритму існує низка явищ із своєю активністю і періодичністю. В результаті моніторингу певних явищ — зміни температури приземної атмосфери і порід зони аерації, електромагнітних збуджень атмосфери (напруженості електромагнітного поля), електричних потенціалів,

привнесених опадами й атмосферними фронтами (теплі і холодні повітряні маси), електричних струмів, генерованих геологічним середовищем, було встановлено, що дія окремих явищ у певному ритмі має відповідну глибину проникнення у покривні відклади. Дані фактори, що впливають на енергомасообмін між атмосферою і літосферою, створюють умови для диференціації перерозподілу електричних потенціалів по розрізу зони аерації.

Дослідженнями особливостей зміни електричних струмів у просторі (по розрізу) і часі (в залежності від факторів їх збудження) було встановлено, що здебільшого при перевищенні додатних іонів в приземній атмосфері в результаті високої активності сонячної радіації, при надходженні теплих атмосферних фронтів і, особливо, при атмосферних опадах в ґрунтовому покриві будуть переважати іони із знаком «+» (аніони). В даних умовах в нижче розміщеному горизонті будуть формуватись іони із знаком «-» (катіони). Два горизонти із переважаними аніонами і катіонами створюють електродинамічну пару, або групу, які умовно можна назвати «анодом» і «катодом». Глибина, або відстань між цими горизонтами буде залежати від електромагнітної проникності порід. В залежності від потужності порід зони аерації подібних електродинамічних груп може бути декілька (рис. 2).

Завдяки диференційованим електричним потенціалам відбувається сепарація (перетікання) іонів до протилежних за знаком горизонтів. Накопичення в горизонтах, названих анодами, речовин-окисників і речовин-відновників у катодних горизонтах спричиняє відповідні процеси. В диференційованих електродинамічних умовах будуть переважати хімічні процеси, що відповідають переважаючим іонам. У вилугованих породах піщаного складу основну роль окисника відіграють молекули кисню і OH, а активним відновником слугує водень, які частково надходять з атмосфери, а більша частина утворюється в результаті хімічних реакцій і дисоціації води під впливом електричних струмів. Значні накопичення іонів водню в катодному горизонті призводять до руйнування кристалічних решіток первинних мінералів (навіть кремнезему), відновлення ряду елементів та винесення їх водним і електричним механізмами, здебільшого за межі горизонту. В результаті електролізу і геохімічних перетворень у розрізах покривних відкладів (найбільш чітко виражені в піщаних ґрунтах) на різних глибинах сформовані оглеєні, або сильно вилуговані горизонти, нерідко складені промитим аморфним кремнеземом (рис. 2).

В горизонтах з високою концентрацією окисників спостерігається накопичення окис-

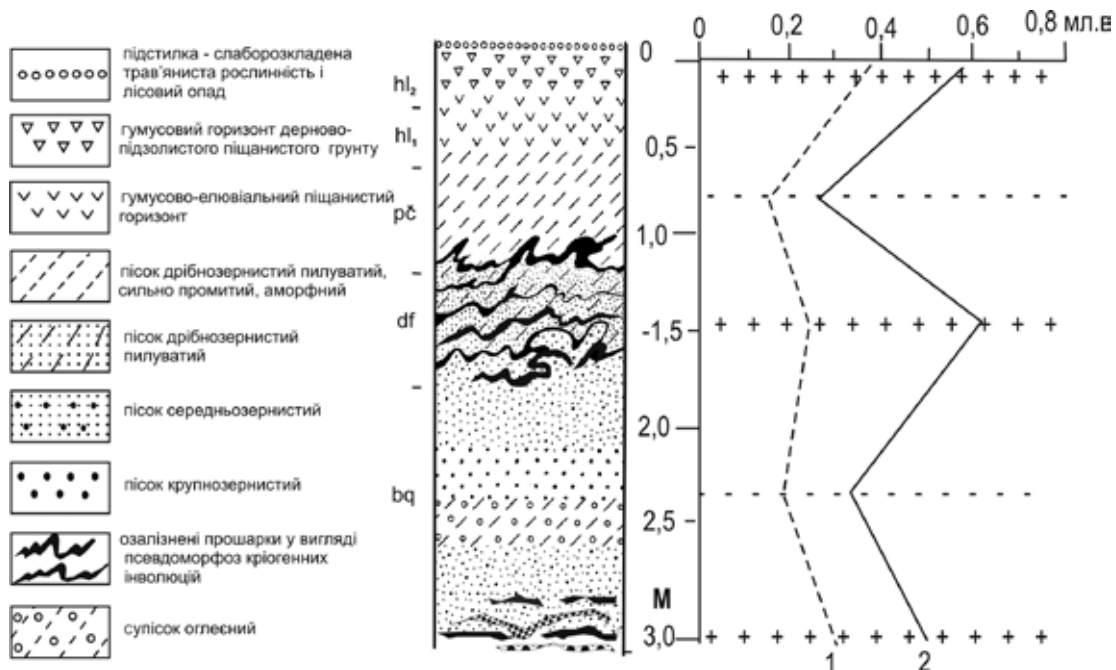


Рис. 2. Вплив електричного струму на характер руху води і формування літологічних горизонтів в межах розрізу зони аерації западнинної морфоскульптури полігону "Лютіж"

1 — домінуючий характер перерозподілу води; 2 — характер зміни сили електричного струму; + + горизонт із переважаючими додатними іонами; - - горизонт із переважаючими від'ємними іонами

них форм. В піщаних породах формуються новоутворення переважно із окисного заліза. В представленому розрізі прошарки стяжін трансформовані палеокріогенними процесами.

Вивчення морфології і структури елементарних частинок порід показує, що у пробах, взятих із промитих зон, переважна більшість частинок скелету (представлені кристалічним SiO_2) має сліди хімічної корозії і поверхню, вільну від колоїдних плівок, а елементарні частинки проб з ілювіальних горизонтів мають чітко виражені асоціації колоїдних плівок і локальних стяжін [3].

У розрізах ми постійно спостерігаємо різного роду постседиментаційні утворення, які часто представлені прошарками (рис. 2), плямами простої і складної форм, концентричними стяжіннями тощо. Якщо провести їх морфологічний аналіз, то виявиться, що для певних ділянок характерні певні геометричні форми. Крім великого геометричного різноманіття новоутворень, існує вертикальна і горизонтальна їх зональність. Спостерігається чітка їх прив'язка до певних глибин, а також не однорідне регіональне розміщення ділянок з підвищеною концентрацією новоутворень. А. В. Македонов, досліджуючи особливості розвитку конкрецій у покривних відкладах [7], підкреслював, що їх розвиток переважно пов'язаний з невеликими плямоподібними ділянками, для яких характерні умови, що виходять за межі зональних. На нашу думку вертикальна прив'язка новоутворень має тісний зв'язок з диференціацією електричних струмів і зв'язаними з ними окисно-відновними процесами, а горизонтальна зональність, ймовірно, пов'язана з мікрогеодинамічними зонами.

ВИСНОВКИ

До нових наукових фактів у даній статті можна віднести три основні позиції: 1) роль зовнішніх електричних струмів, генерованих атмосферою і літосферою, на геохімічні процеси в породах зони аерації; 2) вплив електричних струмів на перерозподіл високорухомих складових порід зони аерації; 3) роль мікрогеодинамічних зон у електрогеохімічних процесах і формуванні літологічних новоутворень.

На підставі визначених фактичних даних — замірів величини електричного струму, вологості порід, хімічного складу рідкої і твердої фаз

порід і морфогенетичного аналізу відкладів, було виявлено ряд закономірностей впливу електричних складових атмосфери і літосфери (напруженості електромагнітного поля приземної атмосфери, сили електричного струму на різних глибинах зони аерації) на геохімічні процеси (розчинення, гідроліз, окиснення-відновлення), перерозподіл іонного складу по профілю і їх вплив на геохімічні процеси в окремих горизонтах. Електричні струми виконують роль каталізатора геохімічних процесів і роботу по переміщенню високорухомого речовинного складу порід. Величина електричних потенціалів і їх робота може змінюватися у великих межах за короткий проміжок часу в різних напрямках.

Гірські породи і процеси, які в них відбуваються, постійно знаходяться під впливом різних електромагнітних сил на всіх стадіях їх розвитку і є одним з важливих факторів формування їх хімічного і мінералогічного складу і властивостей.

Вивчення ролі електричних струмів у формуванні постседиментаційного складу порід знаходиться на початковій стадії і, на наш погляд, має перспективу на подальші дослідні роботи.

1. Бублясь В. М. Мікрогеодинамічні зони як елементарні складові структури літосфери і роль електромагнітних явищ в їх розвитку / Бублясь В. М. // Енергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання: Зб. наук. пр. КНУ. — К., 2006. — С. 86–90.
2. Бублясь В. М. Електрогеодинамічні явища в атмосфері і літосфері та їх вплив на масообмін / Бублясь В. М., Шестопалов В. М., Бублясь М. В. // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Геологія. — 2008. — №44. — С. 67–72.
3. Бублясь М. В. Геологічна дія порових розчинів в умовах діагенезу осадових порід / Бублясь М. В. // Зб. наук. пр. Ін. геол. наук НАН України. — 2011. — Вип. 4. — С. 39–46.
4. Глинка Н. Л. Общая химия / Глинка Н. Л. — Л.: Химия, 1977. — 718 с.
5. Грунтоведение / [под ред. Е. М. Сергеева]. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. — 595 с.
6. Евстратова К. И. Физическая и коллоидная химия / Евстратова К. И., Купина Н. А., Малахова Е. Е. — М.: Высш. шк., 1990. — 487 с.
7. Македонов А. В. Современные конкреции в осадках и почвах / Македонов А. В. — М.: Наука, 1966. — 284 с.
8. Почвоведение / [под ред. В. А. Ковды, В. Г. Розанова]. — М.: Высшая школа, 1988. — Ч. 1. — 400 с.

Інститут геологічних наук НАН України, Київ
E-mail: bubliasy@ukr.net