

УДК 624.131.3:519.283+550.84

С.В. Корнєєнко, канд. геол.-мінералог. наук
С.Є. Шнюков, д-р геол. наук

НОВІ ГЕОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЯВІВ ПРОЦЕСУ ОГЛЕСЕННЯ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ

На підґрунті результатів, отриманих під час виконання спеціальних комплексних досліджень опорних ділянок розвитку западинних морфоскульптур (блюдець) на території регіону Північно-Західного Причорномор'я розроблені принципи та показники якісної й кількісної оцінки ступеня оглеєння деградованих лесових відкладів у контурах блюдець.

On the basis of results received during performance of special complex researches of basic sites of development sink morfosculptures in territory of region North – West seaboard Black Sea Are the principles and parameters of a qualitative and quantitative estimation of a degree of loam and degradation of less adjournment in contours of structures are developed.

Постановка проблеми. В сучасному та давніх ландшафтах рівнинних територій Північно-Західного Причорномор'я широко розповсюджений западинний мікрорельєф (блюдець), які належать до категорії залишково-полігональних западинних морфоскульптур [3]. Завдяки комплексу специфічних особливостей, вони суттєво ускладнюють інженерно-геологічні умови територій та знижують ефективність їх народногосподарського використання (викликає надлишкове перезволоження ґрунтового шару та нестійкість ґрунтів, що часто призводить до вимочування сільгоспкультур і викликає необхідність проведення додаткових заходів при будівництві).

В останні роки нами були проведені спеціальні комплексні дослідження западинних морфоскульптур Північно-Західного Причорномор'я, під час яких, із метою розробки принципів і показників якісної й кількісної оцінки оглеєності, основну увагу було приділено порівняльному вивченню складу та властивостей оглеєних порід у контурах блюдець і порід уміщуючого лесового покриву. Оглеєні породи являють собою різноступеневі деградовані лесові відклади в умовах стійкого гігморфізму. Оглеєння – це складний багатофакторний біо-геохімічний відновлювальний процес, що проходить при постійному та стійкому перезволоженні лесових відкладів у контурах блюдець в анаеробних умовах, за наявності органічної речовини та за участі гетеротрофних анаеробних мікроорганізмів [2, 8].

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Попередніми дослідниками неодноразово вже зчинялися спроби використання різних показників для кількісної оцінки ступеня оглеєння, як найбільш типової та комплексної ознаки зміни порід у контурах блюдець [1, 2, 5, 6, 7]. Найбільшого застосування в якості критерію кіль-

кісної оцінки ступеня оглеєння набув закисний модуль, який дорівнює відношенню FeO до Fe_2O_3 . На нашу думку, він є недостатньо коректним і надійним із багатьох причин. Головним його недоліком є те, що колоїдні з'єднання закисного заліза (віваніт, фероферігидроксид та ін.), що утворилися при постійному й довготривалому надлишковому зволоженні в умовах стійкого розвитку процесів оглеєння, є дуже нестійкими і швидко окислюються на повітрі як під час відбору, так і в процесі підготовки зразків до проведення аналізів. Для того, щоб це не відбувалось, необхідно відразу після відбору поміщувати зразки в міцну соляну кислоту і незабаром (протягом 3–4 год), після повного розчинення проби, визначати вміст окисного й закисного заліза, що в польових умовах зробити достатньо складно.

Метою даної статті є розгляд нових методичних підходів та використання нових альтернативних критеріїв для кількісної оцінки інтенсивності проявів процесу оглеєння лесових ґрунтів.

Основний матеріал. За допомогою розвідувальних траншей на спеціально обраних опорних ділянках: Ізмаїльський (міжозер'є Ялпуг – Катлабух) та Овідіопольський (міжріччя Дністровський лиман – Барабій), були детально досліджені породи верхньоплейстоценової лесової товщі, породи зон контактів геологічних тіл оглеєння з уміщуючою лесовою товщею (перехідна зона) та гідроморфні оглеєні породи в контурах западинних морфоскульптур того ж віку.

В результаті лабораторних досліджень було встановлено різну ступінь деградації й перетворення лесових порід під впливом оглеєння – зміна забарвлення зі світло-палевого на зеленувато-оливкове, зміна реакції середовища (рН) із сильно лужної та лужної на слабо лужну й

нейтральну, вилугування легкорозчинних солей, гіпсу й карбонатів, поява залізо-марганцевих примазок і бобовин, збільшення вологості, щільності, дисперсності й пластичності, зменшення водопроникності, втрата спроможності до просідання, збільшення питомого зчеплення. Всі вище перераховані характеристики дозволяють охарактеризувати процес оглеєння лише з якісного боку, що пов'язано з необхідністю відносно довготривалого проміжку часу для їх зміни, високої мінливості навіть у межах одного генетичного горизонту та великими похибками при їх визначенні, тому розробка принципів і показників кількісної оцінки оглеєності можлива лише на підґрунті ретельних хіміко-мінералогічних досліджень.

Хіміко-мінералогічні особливості порід досліджувались електронно-мікроскопічним, рентгеноструктурним і термічним методами, повним силікатним і мікроелементним аналізами.

Основні породотворювальні мінерали в гідроморфних оглеєних породах і породах перехідної зони такі ж самі, що і в лесових відкладах – головним чином, це кварц і польові шпати (переважно ортоклаз). У незначній кількості присутні сплуди (мусковіт і біотит у різних співвідношеннях), хлорит і глауконіт, досить рідко зустрічаються зерна плагіоклазів (альбіт) і акцесорних мінералів (циркон, сфен, гранат і епідот). Лесові породи уміщуючої товщі містять значну кількість карбонатів, оглеєні породи й породи перехідної зони – лише їх одиничні акраплення, які просочені гідроокисами заліза.

Глинистий матеріал у зразках, що досліджувались, становить від 10 до 30 %. Склад глинистих мінералів лесових порід переважно гідрослюдасто-монтморилонітовий, по мірі переходу в оглеєних породах вміст монтморилоніту (за даними термічного аналізу) зростає, кількість сидериту збільшується, а кальциту зменшується, вміст каолініту у всіх зразках перебуває у підлеглому стані.

Результати повного силікатного й мікроелементного аналізів свідчать про те, що гідроморфні оглеєні породи вміщують такі ж компоненти і комплекс мікроелементів, що й лесові породи. Розрахунки деяких петрохімічних модулів показали таке: співвідношення вмісту SiO_2 до суми полуторних окислів R_2O_3 як для лесових, так і для оглеєних порід змінюється в межах від 3,15 до 3,39 (у середньому 3,26), що посередньо підтверджує переважання гідрослуд серед глинистих мінералів; співвідношення суми $\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$ до вмісту K_2O для оглеєних порід змінюється від 0,63 до 0,87 (у середньому 0,79), що у 2–3 рази нижче, ніж у лесових порід, де значення цього співвідношення змінюються в межах від 1,51 до 7,0 (у середньому 4,0) – отриманий результат свідчить про низький вміст карбонатів в оглеєних породах.

Нами була зроблена спроба розробки альтернативних критеріїв кількісної оцінки інтенсивності проявів процесу оглеєння. Такі критерії мають ґрунтуватися на кількісних геохімічних даних, які можна достатньо швидко та просто отримувати, а можливість їх створення, впливає з давно встановленої контрастності поведінки багатьох петрогенних компонентів і мікроелементів у зоні гіпергенезу, яка проявляється в їх інтенсивній міграції та вибіркового накопичення унаслідок різних змін величин pH і Eh порових вод (середовища міграції) та наявності сорбційних геохімічних бар'єрів. Перераховані фактори накопичення добре проявляються в западинних морфоскульптурах (блюдець), завдяки чому в їх контурах сформувалась специфічна геохімічна зональність, типоморфна відносно як типу процесу (оглеєння), так і ступеня його проявлення. Зауважимо, що далеко неповна однозначність, занадто загальний і лише якісний характер отриманих іншими дослідниками геохіміч-

них даних із цієї проблеми змусив авторів при розробленні геохімічних критеріїв використовувати лише оригінальні дані, які вигідно відрізняються від більшості наведених у літературних джерелах коректністю їх отримання й конкретністю об'єктів вивчення.

В якості базової геохімічної інформації були використані результати аналізів представницьких проб, які були пошарово відібрані з двох еталонних розрізів описаних вище опорних ділянок, які відрізняються однозначною взаємною кореляцією виділених стратиграфічних горизонтів, їх літологічною однотиповістю і характеризуються різним ступенем проявлення процесу оглеєння. Всього було відібрано й аналітичним шляхом вивчено 30 геохімічних проб, при цьому свідомо використовувались тільки широко розповсюджені й відносно недорогі аналітичні методи: визначення концентрацій петрогенних елементів (повний силікатний аналіз) було виконано рентгеноспектральним флуоресцентним методом, а концентрації мікроелементів визначались методом напівкількісного емісійного спектрального аналізу (НД лабораторії Київського національного університету ім. Тараса Шевченка).

Результати виконаних аналітичних досліджень надали можливість охарактеризувати поведінку широкого набору хімічних елементів, які є контрастними за своїми властивостями і належать до різних геохімічних груп (літо-, халько-, сідерофіли та ін.), що є важливим для вивчення міграції хімічних елементів і особливо, їх концентрування в геологічних тілах оглеєння западинних морфоскульптур (блюдець).

Для вирішення поставленого завдання результати окремих визначень концентрацій були осереднені, а потім для найбільш оглеєного бугського горизонту (про що свідчили результати вивчення інженерно-геологічних властивостей оглеєних порід [4]), розповсюдженого в межах геологічного тіла оглеєння блюдець, були розраховані коефіцієнти накопичення (КН) для всіх компонентів хімічного та мікроелементного складу щодо їх фонових концентрацій. Фонові значення, у свою чергу, були отримані шляхом осереднення результатів визначення концентрації компонентів складу бугського горизонту розташованого в межах уміщуючої не деградованої лесової товщі. В результаті виконання такої першої простої процедури вдалося отримати ряди хімічних елементів, які відображають відносну інтенсивність їх міграції або накопичення в процесі оглеєння.

Для мікроелементного складу отриманий ряд мав такий вигляд: $\text{V}(1,87) > \text{Ni}(1,58) > \text{Co}(1,52) > \text{P}(1,44) > \text{Zr}(1,44) > \text{Y}(1,43) > \text{Nb}(1,42) > \text{Zn}(1,29) > \text{Cr}(1,25) > \text{Mo}(1,21) > \text{Ti}(1,20) > \text{Ge}(1,18) > \text{Cu}(1,17) > \text{Ga}(1,10) > \text{Mn}(1,07) > \text{Pb}(1,06) > \text{Sn}(1,04) > \text{Bi}(0,97)$. Отримані результати свідчать, що для багатьох мікроелементів (у першу чергу, сідеро- та літофілів) чітко фіксується помітне накопичення в оглеєних породах блюдець – для них характерні значення $\text{КН} > 1,30$ (наведені у дужках у символів елементів). Частина мікроелементів накопичується слабо ($\text{КН} = 1,10\text{--}1,30$), а деякі поводять себе практично інертно ($\text{КН} = 0,97\text{--}1,10$). Інтенсивний винос і міграція з контурів тіл оглеєння блюдець не характерні ні для одного з вивчених мікроелементів.

Для петрогенних компонентів отриманий ряд має трохи інший вигляд: $\text{Cl}(8,75) > \text{Na}_2\text{O}(1,37) > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2(1,21) > \text{K}_2\text{O}(1,18) > \text{TiO}_2(1,17) > \text{Fe}_{\text{заг}}(1,16) > \text{P}_2\text{O}_5(1,13) > \text{MnO}(1,11) > \text{MgO}(0,75) > \text{SiO}_2(0,50) > \text{CaO}(0,09)$. Відмінність від наведеного вище ряду мікроелементів складається в наявності не тільки елементів, що характеризуються інтенсивним ($\text{КН} > 1,30$) і слабким ($\text{КН} = 1,10\text{--}1,30$) накопиченням, але й елементів, для яких однозначно встановлено зниження концентрацій

($KH < 0,75$). Інертна поведінка не притаманна ні одному з вивчених петрогенних компонентів. Зауважимо, що віднесення деяких елементів (Cl, S, P, Ti) до групи петрогенних має умовний характер і є даниною традицій – вони завжди входили до набору компонентів повного силікатного аналізу та, в нашому випадку, визначались спільно з петрогенними компонентами одним аналітичним методом (рентгеноспектральним флуоресцентним).

Титан і фосфор наведені як у рядах петрогенних компонентів, так і в рядах мікроелементів, причому якщо для Ti значення KH (відповідно 1,17 та 1,20) добре погоджуються в обох випадках, то дані для P відрізняються дуже суттєво (1,13 та 1,44). На наш погляд це пов'язано з тим, що похибка кількісного рентгеноспектрального флуоресцентного аналізу в області характерних для вивчених проб низьких концентрацій фосфору (близьких до порога виявлення) різко підвищується й починає помітно перевищувати похибку напівкількісного спектрального аналізу, порогова чуттєвість якого за P значно вища. Завдяки цьому (низька концентрація і, відповідно, велика аналітична похибка) малодостовірними слід вважати значення $KH = 0,50$, які були отримані для сірки. Тому для P і S було надано перевагу даним, наведеним у ряду мікроелементів.

Таким чином, отримані результати переконливо свідчать про наявність як позитивних, так і негативних поліелементних геохімічних аномалій у контурах западинних морфоскульптур і генетично пов'язаних із процесами їх формування. Ці аномалії виражені досить чітко; в той же час, на моноелементному рівні вони мають невелику контрастність (KH для більшості елементів не перевищує 1,50 й лише для Cl він дорівнює 8,75 та для V – 1,87). У зв'язку з цим, при вивченні конкретних розрізів лесових і оглеєних порід, завдяки не менш значних первісних геохімічних відмінностей між літологічно різними стратиграфічними горизонтами, геохімічні аномалії можуть бути пропущені.

Оптимальним засобом однозначного виділення подібних малокоонтрастних, але комплексних поліелементних геохімічних аномалій, є використання мультиплікативних показників і коефіцієнтів. Такі геохімічні показники (P_c^r , P_n^r) і петрохімічні коефіцієнти (K_c^n , K_n^n) були нами сформовані на підґрунті наведених вище рядів петрогенних елементів і мікроелементів.

Вони мають такий вигляд:

$$P_c^r = C_V \times C_{Ni} \times C_P \times C_{Co} \times C_{Zn} \times C_Y \times C_{Nb};$$

$$K_c^n = \frac{C_{Cl} \times C_{Na2O}}{C_{MgO} \times C_{CaO}},$$

де C – концентрації відповідних підрядковим індексам мікроелементів (r/r) або петрогенних компонентів (%) у дробі;

$$P_n^r = KH_V \times KH_{Ni} \times KH_P \times KH_{Co} \times KH_{Zn} \times KH_Y \times KH_{Nb};$$

$$K_n^n = \frac{KH_{Cl} \times KH_{Na2O}}{KH_{MgO} \times KH_{CaO}},$$

де KH – коефіцієнти накопичення відповідних підрядковим індексам мікроелементів або петрогенних компонентів, розрахованих за формулою:

$$KH = \frac{C^2}{C^1},$$

де C^1 і C^2 – концентрації мікроелемента (або петрогенного компонента) у межах одного стратиграфічного го-

ризонту, відповідно первісних вміщуючих лесових (C^1) і деградованих оглеєних (C^2) розрізів.

Як можна побачити, в показниках і коефіцієнтах були використані лише ті елементи, для яких у наведених вище рядах, була достовірно встановлена приналежність до груп інтенсивного накопичення ($KH > 1,30$) або груп інтенсивного виносу ($KH < 0,75$). Для кожного з них, особливо для P_c^r та K_n^n , має передбачатися закономірне зростання в широкому діапазоні значень із ростом ступеня оглеєння.

Можна зробити висновок про те, що P_c^r та K_n^n значно

більш контрастно й однозначно, ніж P_c^r та K_c^n , відбивають зону оглеєння бугського горизонту. Для цих показників виявилася й інша перевага – фактично відсутні незакономірні флуктуації значень, які є характерними для P_c^r та K_c^n . Цю перевагу можна пояснити

використанням у P_c^r та K_n^n коефіцієнтів накопичення елементів (або компонентів) замість їх концентрацій. Такий підхід, як можна побачити, дозволяє (природно, при умові використання для розрахунків коректно отриманих фонових значень) у принципі усунути вплив первинних геохімічних відмінностей між породами горизонтів, що порівнюються та який виявляється в незакономірних коливаннях значень P_c^r та K_c^n у вивчених розрізах.

Виконана нами апробація показала, що для практичного використання в якості простих, експресних, ефективних і недорогих критеріїв виявлення тіл оглеєння в лесових розрізах території Північно-Західного Причорномор'я та кількісної оцінки ступеня оглеєння можуть бути рекомендовані мультиплікативний петрохімічний коефіцієнт K_n^n і геохімічний показник P_n^r . Навіть їх незалежне, роздільне використання, спроможне забезпечити отримання цілком достовірних результатів. З точки зору роздільного використання K_n^n та P_n^r , вдалим є прив'язка кожного з них до певного аналітичного методу, що в кожному окремому випадку дає можливість вибору найбільш задовільного за кошторисом та аналітичним можливостям варіанту.

Однак, максимальна ефективність досягається лише при комплексному використанні K_n^n та P_n^r з інтерпретацією отриманих даних за допомогою спеціальної номенклатурної діаграми.

Залежно від попадання результатів визначень у межі одного з номенклатурних полів, встановлюється ступінь оглеєння – слаба, середня та висока, а використання для інтерпретації аналітичних даних комплексного петрогеохімічного коефіцієнта $K_n^{r+n} = K_n^n \times P_n^r$, значення якого зростають більш ніж на три порядки при переході від не деградованих лесових порід до гідроморфних оглеєних порід у контурах блюдець, дозволяють встановити і кількісні межі ступеня оглеєння: при $K_n^{r+n} < 10$ – слаба ступінь оглеєння; при K_n^{r+n} від 10 до 2000 – середня та при $K_n^{r+n} > 2000$ – висока.

Висновки. Запропонована нами методика дозволяє визначати ступінь оглеєння та її кількісну градацію для гідроморфних порід у контурах западинних морфоскульптур (блюдець, подів) будь-яких регіонів із площовим розвитком таких структур. Відмінність буде полягати лише у використанні для кожного конкретного випадку, набору мікроелементів і петрогенних компонентів, кон-

трастність поведінки яких найбільш характерна для умов регіону, що досліджується.

1. Быкова В.С. Типы лессовых пород юга Украины и их инженерно-геологическая характеристика // Труды лаборатории гидрогеологических проблем. – М., 1962. – Т. XVI. 2. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М., 1988. 3. Корнеев С.В. Инженерно-геологические особенности западных морфоскульптур (блюдец) Північно-Західного Причорномор'я // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 1996. – № 14. – С. 130–134. 4. Корнеев С.В., Молодых И.И., Шабатин В.С. Сравнительная характеристика инженерно-геологических свойств субэвразийских лессовых и гидроморфных глинистых пород районов развития западных морфоскульптур (блюдец) Північно-Західного При-

чорномор'я // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 1996. – № 14. – С. 135–145. 5. Краев В.Ф. Инженерно-геологические свойства лессовых пород правобережной части Нижнего Приднепровья в связи с условиями их формирования // Доклады АН СССР. – 1956. – Т. 109, № 3. – С. 611–613. 6. Молодых И.И. Грунты полей и степных блюдец субэвразийского пояса Украины. – К., 1982. 7. Молодых И.И., Корнеев С.В. Инженерно-геологическая оценка посткриогенной деградации лессовых пород в контурах остаточного-полигональных западных морфоскульптур юга Восточно-Европейской платформы // Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология и геокриология. – 1993. – № 5. – С. 75–94. 8. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М., 1975.

Надійшла до редакції 23.03.04