

## РОДОВИЩА РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕТРАДИЦІЙНОГО ТИПУ (ПРИАЗОВ'Я, УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Л.Д. Сетая

E-mail: lasetaya@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2996-0289>

І.Ю. Ніколаєв

E-mail: oemidonetsk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2208-0032>

С.М. Стрекозов

E-mail: ssss21161@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1421-4910>

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна*

Розглянуто геологічну будову та перспективність нетрадиційної для промисловості України групи об'єктів рідкісноземельної сировини екзогенного походження. На думку авторів, це переважно глиниста кора вивітрювання гранітоїдів та інших алюмосилікатних порід, яка містить сорбовані елементи ітрієвої групи (або близькі до них). Особливістю руд такого типу, яка може зацікавити інвесторів, є можливість порівняно простого і недорогого вилучення *REE*. Як приклад надається стисла характеристика конкретних об'єктів у межах Приазов'я та на границі з Донбасом. Це кора вивітрювання сублужних рідкіснометалевих гранітів Єкатеринівського та Стародубівського масивів, алюмосилікатних метаморфічних порід Валер'янівської ділянки і аргілізити зони тектонічного меланжу Жоголівського рудопроаяву. На масивах зафіксовано Y-Ta-Nb промисловий тип родовищ, у породах Валер'янівської ділянки — переважно ітрієвий. На основі фактичних результатів аналітичних досліджень зроблено висновки щодо якісного та кількісного складу руд і прогнозних ресурсів на розглянутих ділянках. Здійснено порівняння промислових технологічних методів вилучення Y та  $\Sigma REE$  із пухких руд Жоголівського рудопроаяву. Обґрунтовано доцільність подальших пошуків і досліджень з метою розширення мінерально-сировинної рідкісноземельної бази України.

**Ключові слова:** Приазов'я, рідкісноземельні елементи, кора вивітрювання, аналітичні дослідження.

**Вступ.** Розвиток мінеральної ресурсної бази рідкісноземельних елементів (*REE*), з огляду на постійний ріст їх споживання у світі, є пріоритетним для України. Останнім часом підвищений інтерес викликає промисловий тип екзогенних руд, пов'язаних із глинистою корою вивітрювання гранітоїдів та інших алюмосилікатних порід, первинно збагачених мінералами *REE*. Привабливою особливістю таких руд є можливість порівняно простого і недорогого вилучення *REE*, оскільки переважною формою їх наявності у руді є іонна, тобто *REE* сорбовані на поверхні частинок каолініту і гідроксидів Fe і Mn — так званий китайський тип іонних руд. Переробка глинистих мас із вмістом  $REE_2O_3$  на рівні

0,01—0,1 % (за умови значного перевищення ітрієвої групи над церієвою) стає рентабельною, бо не вимагає дроблення та збагачення.

У межах Українського кристалічного щита (УЩ) перспективи виявлення промислових родовищ екзогенних руд *REE* пов'язують переважно з каоліновою корою вивітрювання. У Приазовському блоці УЩ поширені пізньопротерозойські граносієніти і граніти та нефелінові сієніти рідкіснометалево-рідкісноземельної спеціалізації з корою вивітрювання різного мінерального складу та потужності. Пошуковими та науково-дослідними роботами в Приазовському блоці УЩ було встановлено, що промислові родовища екзогенних руд *REE* пов'язані, го-

ловним чином, з корою вивітрювання сублужних рідкіснометалевих гранітів (Єкатеринівський та Стародубівський масиви) або алюмосилікатних метаморфічних порід (Валер'янівська ділянка). На масивах формується ітрієвоземельно-тантало-ніобієвий промисловий тип родовищ, на метаморфічних породах — ітрієвоземельний. У зоні зчленування Донбасу і Приазовської частини УЩ у межах Південно-Донбаської металогенічної зони розташовано Жоголівський рудопрояв в аргілізитах, приурочених до зон тектонічного меланжу.

**Метою роботи** є систематизація і визначення спільних рис невеликих родовищ і рудопроявів *REE* Приазовської частини УЩ для подальшого вивчення і освоєння їх у складі єдиного гірничо-промислового комплексу як частини мінерально-сировинної бази України.

**Методика досліджень.** На базі фактичних матеріалів Приазовської комплексної геологічної партії виконано роботу з аналізування та переінтерпретації картографічних даних, результатів лабораторних досліджень і підрахунків прогнозних ресурсів на конкретних перспективних ділянках.

**Об'єкти досліджень.** *Єкатеринівська ділянка.* Як результат пошукових робіт на ітрії Приазовської комплексної геологорозвідувальної експедиції (КГЕ) у центрі Єкатеринівського масиву було виділено перспективну площу, оконтурену мультиплікативною аномалією Y, Ce та La із вмістом суми оксидів *REE* понад 0,05 % (рис. 1). Продуктивними породами тут є біотитові та амфіболові грейзенізовані, альбітизовані, мікроклінізовані граніти. Рідкісноземельна мінералізація представлена цирколітом, колумбітом, рабдофанітом.

У корі вивітрювання екатеринівських гранітів (над геохімічною аномалією *REE* в гранітах) у 37 свердловинах було виділено рудне тіло площею 183 га із середньою потужністю верхньої та проміжної зон кори 9,9 м. У всіх свердловинах, що розкрили рудне тіло, вміст *REE* перевищує 0,05 %, у 12 рудних перетинах вміст  $\sum REE$  перевищує 0,10 %. За середньої концентрації *REE* у рудному тілі 0,11 % прогнозні ресурси становлять 3 766 т. Характеристику спектра *REE* у рудах Єкатеринівської площі наведено у табл. 1 і 2.

**Стародубівський рудопрояв.** У зоні кінцевих і проміжних продуктів вивітрювання Старо-

дубівської ділянки було визначено п'ять перспективних площ із аномальною концентрацією *REE* понад 0,05 %. Дві ділянки пов'язані з тріщинно-площовою (за морфологією), а три — з плащеподібною корою вивітрювання (рис. 2). Першочерговими для детальних пошукових робіт визнані площі, приурочені до лінійної кори вивітрювання.

**Характеристика перспективної площі № 1 у межах Стародубівського масиву.** Перспективну площу № 1 визначено за 14 свердловинами, зосередженими у відносно вузькій тектонічній зоні північно-західного простягання. Параметри зони — 1 250 × 150 × 14,2 м. Виділене за результатами хімічного аналізу рудне тіло найдетальніше було вивчено у св. 0314 на південному сході рудної зони. В інтервалі 17,8—38,0 м свердловина зустріла лінійну кору вивітрювання метасоматично змінених гранітів, представлену (згори до низу) структурною каоліновою зоною, яку змінюють інтенсивно каолінізовані граніти проміжної зони.

Середня потужність тіла становить 20,2 м, зокрема потужність зони кінцевих продуктів вивітрювання — 8,0 м. Вміст  $\sum REE$  коливається від 0,05 до 0,80 %, середній 0,15 %. Прогнозні ресурси перспективної площі № 1 за середнього вмісту  $\sum REE_2O_3$  0,15 % — 553 т  $Y_2O_3$ .

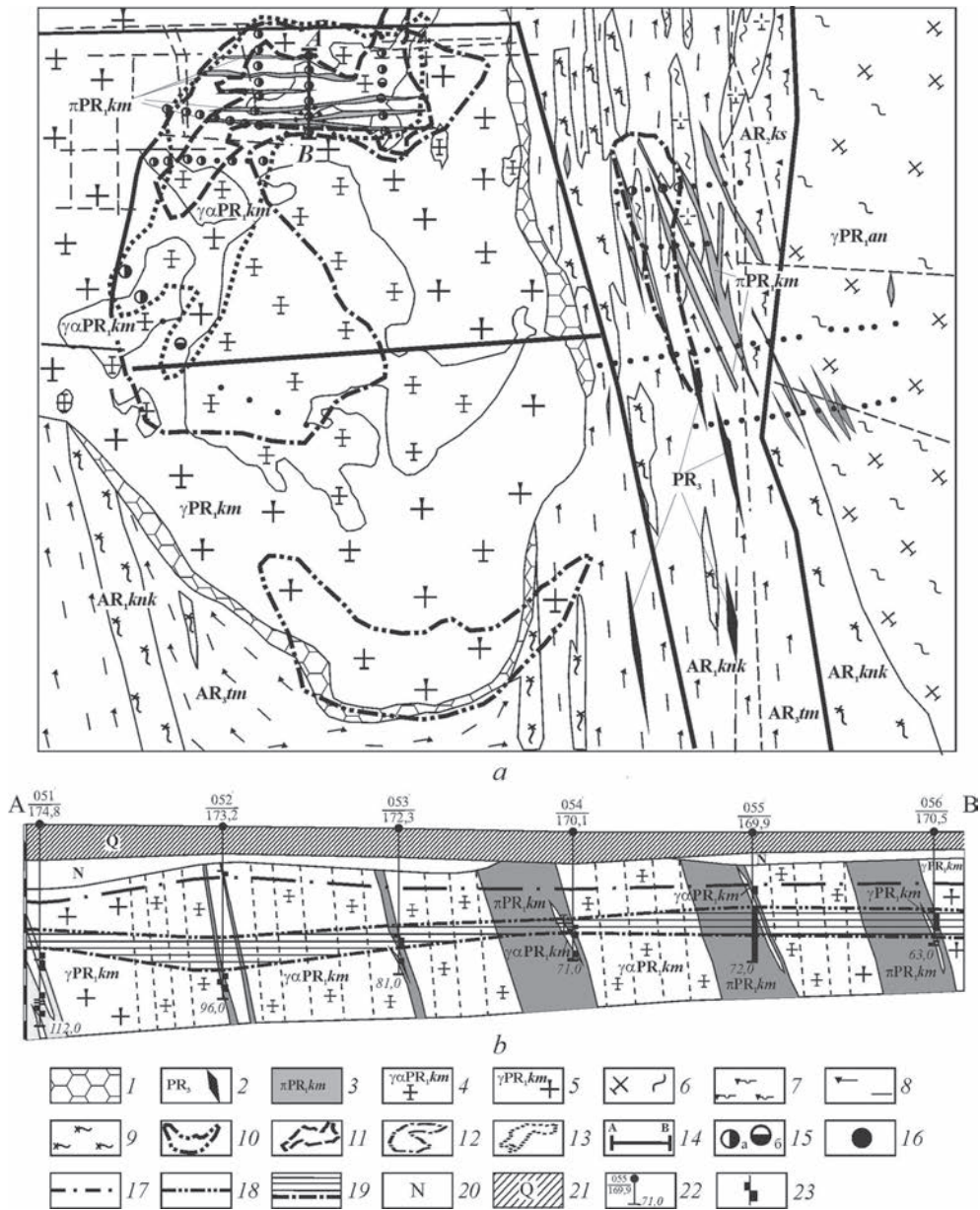
**Характеристика перспективної площі № 2 у межах Стародубівського масиву.** Перспективна площа № 2 виділена у восьми свердловинах, розташованих у вузькій тектонічній зоні північно-західного простягання, що обрамлює більшу лінійну тектонічну структуру з півдня.

Потужність рудного тіла за вмісту  $\sum REE$  понад 0,05 % коливається від 3,0 до 41,2 м, у середньому для зон проміжних і кінцевих продуктів вивітрювання кори — 17,2 м.

Концентрація *REE* коливається від 0,05 до 0,66 %, у середньому — 0,31 %. У цілому для всієї зони середній вміст становить 0,075 %.

Параметри зони становлять 1 630 × 90 × 17,2 м, тож із урахуванням понижувальних коефіцієнтів прогнозні ресурси складають 357 т  $\sum REE$ .

Загалом прогнозні ресурси перспективних площ становлять 2 138 т *REE*. Результати визначення вмісту *REE* в рудах Стародубівської площі наведені в табл. 3 і 4 [1]. Рідкісноземельні елементи Стародубівського прояву



**Рис. 1.** Геологічна схема південної частини Єкатеринівської ділянки (а) і геологічний розріз по лінії А-В (b) (за матеріалами Приазовської КГЕ): 1 — катаклазити; 2 — дайковий комплекс (діабаз, лампрофіри); 3–5 — кам'яномогильський комплекс: 3 — пегматити рідкісноземельні, граніти пегматоїдні біотит-амфіболові; 4 — аплітоїдні граніти біотит-альбіт-мікроклінові; 5 — граніти біотитові, біотит-амфіболові; 6 — граніти біотитові лейкократові, мігматити анадольського комплексу; 7 — сланці, мікрогнейси, амфіболіти косівцевської товщі; 8 — гнейси і плагіогнейси темрюцької світи; 9 — плагіогнейси, мігматити кайінкулацької товщі; 10 — вторинні геохімічні аномалії Y; 11 — висококонтрастні аномалії  $\Sigma REE$ ; 12 — низько-, середньоконтрастні аномалії  $\Sigma REE$ ; 13 — мультиплікативні геохімічні аномалії Y, Ce, La; 14 — лінія геологічного розрізу; 15 — свердловина з аномальним вмістом  $RE_2O_3$ ; а — в корі вивітрянання; б — в корінних породах; 16 — пошукові свердловини 1989–1993 рр.; 17–23 — на розрізі: 17 — границя поширення глинистої кори; 18 — границя поширення проміжної кори; 19 — площа і границя поширення зони дезінтеграції порід; 20 — неогенові відклади; 21 — суглинки; 22 — номер свердловини (в знаменнику абсолютні відмітки); 23 — рудні інтервали у свердловині: праворуч вміст  $\Sigma REE_2O_3 > 0,05\%$ , ліворуч  $> 0,1\%$

представлені суттєво ітрієвою групою, вміст оксиду ітрію становить 30–45, в середньому — 37,9% від  $\Sigma REE$ . Навіть невеликі за розмірами родовища цього типу матимуть велике практичне значення.

**Валеріанівський рудопрояв.** Площею, перспективною для виявлення промислового екзогенного рідкісноземельного зруденіння у корі вивітрянання метаморфічних алюмосилікатних порід, є ділянка Валеріанівська

(рис. 3). У результаті пошукового буріння фосфатно-рідкісноземельно-цирконієву мінералізацію було встановлено у гранітах «прирозломного» типу та їхній корі вивітрювання, у порушених вивітрюванням мікроклінізованих плагіогнейсах, у мигматитизованих кристосланцях. Головними мінералами-концентраторами *REE* є ксенотим, монацит і циркон, максимальний вміст яких виявлено у корі вивітрювання, а також апатит.

Згідно з результатами хімічного аналізу, вміст  $\Sigma REE$  у кінцевих і проміжних продуктах вивітрювання становить від 0,05 до 0,11–0,54 %. Потужність продуктивних ін-

тервалів коливається від 1,0 до 4,5 м. Прогнозні ресурси *REE* становлять 1 701 т. Крім *REE*, тут відзначено підвищену концентрацію Zr, Nb, Sn, рідше — Ве. У зв'язку з недостатньою вивченістю території, висновки щодо промислових перспектив Валеріанівської перспективної площі потребують додаткових досліджень.

**Валер'ївська рідкісноземельна металогенічна зона.** У результаті робіт Приазовської КГЕ 2007–2012 рр. було визначено Валер'ївську рідкісноземельну металогенічну зону, яка фактично є частиною Південно-Донбаської металогенічної зони, розташованої на

Таблиця 1. Спектр *REE* в рудах Єкатеринівської ділянки (%<sub>вміст</sub> від суми лантаноїдів)

Номер проби	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
*Е-1	14,1	32,0	5,3	17,7	5,5	1,20	6,0	1,60	7,60	1,20	4,30	0,72	2,20	0,38
Е-5	14,9	22,2	4,2	17,6	6,4	1,20	8,1	1,90	10,4	1,70	6,30	1,00	3,50	0,60
Ек-013	19,0	39,7	4,9	18,0	4,2	0,48	3,8	0,64	4,00	0,55	2,80	0,42	1,30	0,21

Примітка: Е-1 — св. № 011, інт. 128,0–131,0 м; Е-5 — св. № 014, інт. 98,0–101,0 м; Ек-013 — св. № 013, інт. 34,5–38,0 м.

Таблиця 2. Характеристика спектра *REE* у рудах Єкатеринівської ділянки

Номер проби	$\Sigma(\text{La-Nd})$	$\Sigma(\text{Sm-Ho})$	$\Sigma(\text{Er-Lu})$	$Y_2O_3$	$\Sigma REE_2O_3$	$Y_2O_3/\Sigma REE_2O_3$
	Відносні %			Абсолютні %		%
*Е-1	69,1	23,10	7,60	0,013	0,054	24,1
Е-5	58,9	29,70	11,40	0,024	0,079	30,4
Ек-013	81,6	13,67	4,73	0,017	0,210	8,1

Таблиця 3. Спектр *REE* в рудах Стародубівської ділянки (%<sub>вміст</sub> від суми лантаноїдів)

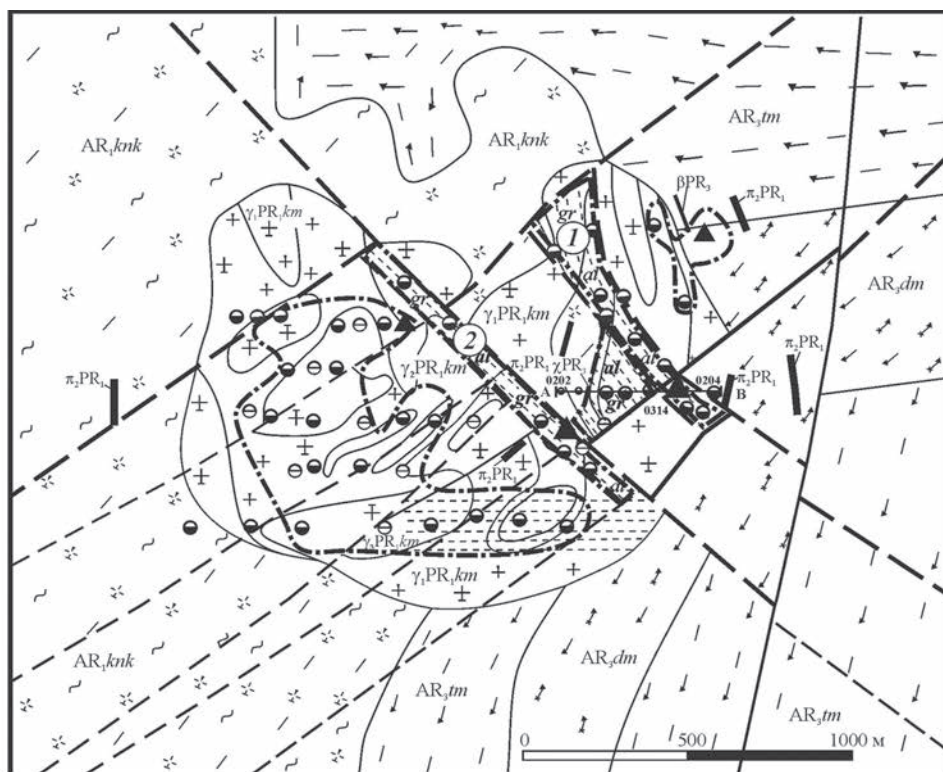
Номер проби	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
С-2	8,5	21,3	3,9	21,0	8,4	1,10	8,8	2,20	11,2	1,80	5,70	0,92	4,50	0,68
Ст-0314	8,0	13,9	4,1	17,6	5,5	0,75	8,4	1,70	13,1	2,20	9,40	1,50	11,90	2,00

Примітка: С-2 — св. 0135, інт. 18,5–19,8 м; Ст-0314 — св. 0314, інт. 30,3–36,6 м.

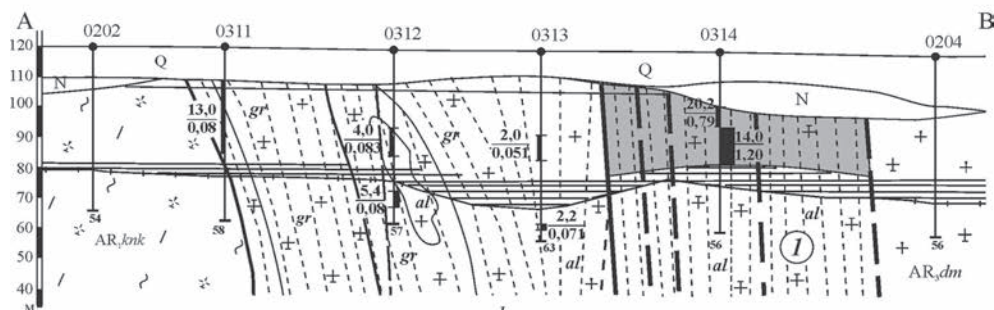
Таблиця 4. Характеристика спектра *REE* у рудах Стародубівської ділянки

Номер проби	$\Sigma(\text{La-Nd})$	$\Sigma(\text{Sm-Ho})$	$\Sigma(\text{Er-Lu})$	$Y_2O_3$	$\Sigma REE_2O_3$	$Y_2O_3/\Sigma REE_2O_3$
	Відносні %			Абсолютні %		%
С-2	54,7	33,50	11,8	0,012	0,04	30,00
Ст-0314	43,6	31,65	24,8	0,430	0,94	45,74

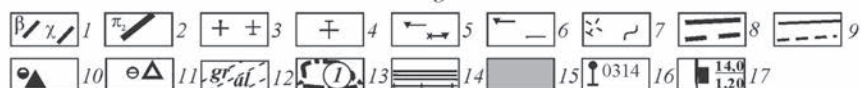




a



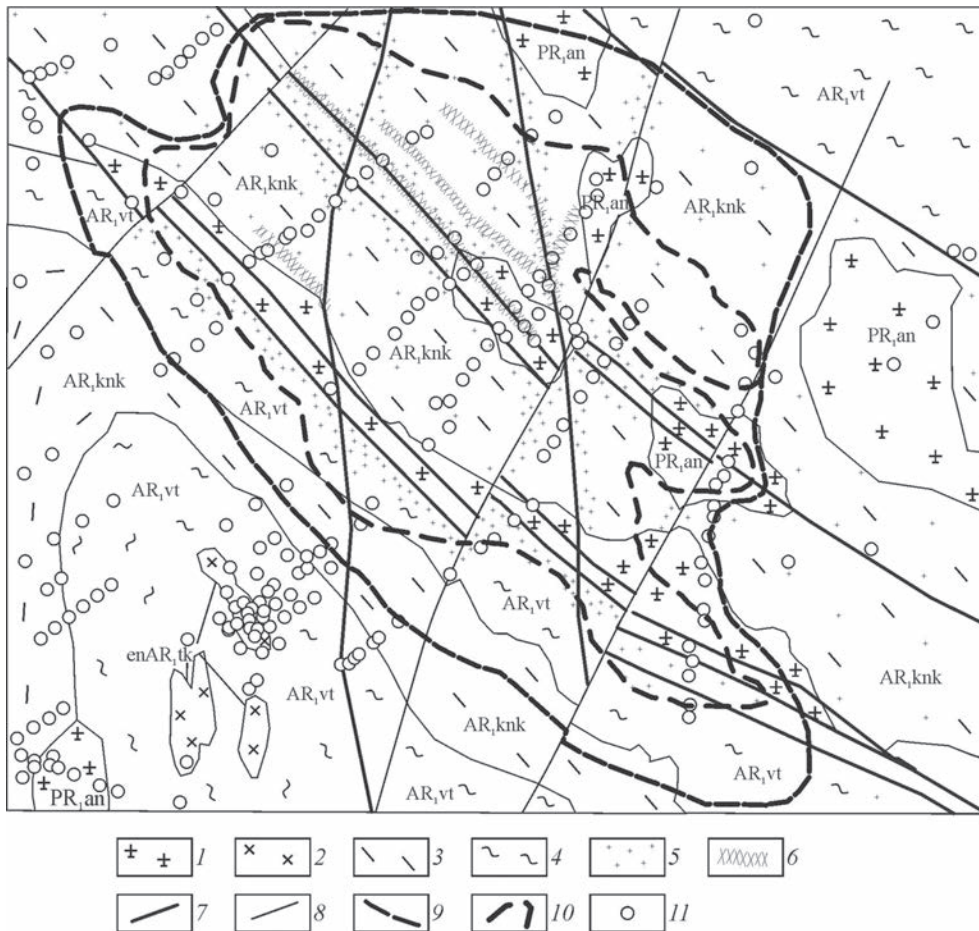
b



**Рис. 2.** Схематична геологічна карта (а) і геологічний розріз по лінії А—В (b) Стародубівського масиву (за матеріалами Приазовської КГП): 1 — дайковий комплекс (570—1400 млн рр.): — діабазы (b), лампрофіри (c); 2—4 — кам'яномогильський комплекс: 2 — пегматити рідкісноземельні; 3 — граніти біотитові; біотит-амфіболові (g<sub>1</sub>), грейзенізовані, альбітізовані (g<sub>2</sub>); 4 — граніти мусковіт-мікроклін-альбітові (g<sub>3</sub>); 5 — дем'янівська світа, гнейси амфібол-біотитові, двопіроксен-амфіболові та ін.; 6 — темрюцька світа, гнейси біотитові, амфібол-біотитові та ін.; 7 — кайінкулацька товща, плагіогнейси, мігматити біотитові, амфібол-біотитові та ін.; 8—9 — розривні порушення: 8 — головні, 9 — другорядні; 10—11 — точки підвищеної мінералізації (кружки) і рудопрояви (трикутники); 10 — у корі вивітрювання; 11 — в корінних породах; 12 — грейзенізація (gr) та альбітізація (al); 13 — перспективні площі. На розрізі: 14 — зона дезінтегрованих кристалічних порід; 15 — руди кори вивітрювання; 16 — свердловина, її номер; 17 — рудні інтервали: у корі вивітрювання зі вмістом суми оксидів REE: понад 0,05 %; понад 1,0 %; у корінних породах (в чисельнику — інтервал (м), в знаменнику — вміст суми оксидів REE)

межі Донбасу і Приазовської частини УЩ. Рідкісноземельна мінералізація пов'язана з тектонізованими відкладами нижнього карбону. У межах даної металогенічної зони виявлено шість перспективних площ поблизу

флюсо-доломітних кар'єрів. Зруденіння підтверджено деякими свердловинами в межах усєї зони, зокрема і між кар'єрами, що свідчить про доцільність подальшого вивчення об'єкта.



**Рис. 3.** Схематична геологічна карта кори вивітрювання кристалічних порід Валеріанівської ділянки (дані Приазовської КГП): 1 — граніти біотитові, апліти, мігматити тінюві анадольського комплексу; 2 — ендербіти токмацького комплексу; 3 — гнейси, мігматити кайнкулацької товщі; 4 — гнейси, кристалосланці верхньотокмацької товщі; 5 — зони гранітизації, мігматизації; 6 — лінійна кора вивітрювання; 7 — головні тектонічні порушення; 8 — другорядні тектонічні порушення; 9 — контур Валеріанівської перспективної площі; 10 — контур перспективної ділянки; 11 — свердловина

**Жоголівський рудопрояв.** Одним із найкраще вивчених об'єктів рідкісноземельного зруденіння є Жоголівський рудопрояв, виявлений у ході пошукових робіт на поліметалеві руди у межах Комсомольського рудного вузла у 2007 р. Вивчення Жоголівського рудопрояву було продовжено у 2008—2013 рр. під час оцінювання рідкісноземельних об'єктів у центральній і східній частинах УЩ [3].

У структурному плані Жоголівський рудопрояв знаходиться у східній частині зони зчленування Донбасу та Приазовського блоку УЩ і приурочений до меланжованих вапняків нижнього карбону (рис. 4). Доцільним здається розгляд ряду ділянок, показаних на рисунку, як єдиного комплексного об'єкта,

що становить значний інтерес для промислового освоєння і використання у металургійній галузі країни.

Рідкісноземельне зруденіння приурочено до аргілізитів, розкритих Жоголівським кар'єром Комсомольського РУ з видобутку флюсової сировини (рис. 5).

Продуктивною зоною, що контролює розташування рудовмісних аргілізитів, є зона тектонічного меланжу, розвинена у вигляді широких поздовжніх смуг майже повністю дезінтегрованих порід із брилами-кластолітами і невеликими масивами різних порід карбону, девону та протерозою.

Зони меланжу в насувах простягаються на відстань від перших до десятків кілометрів у субширотному простяганні і мають шири-

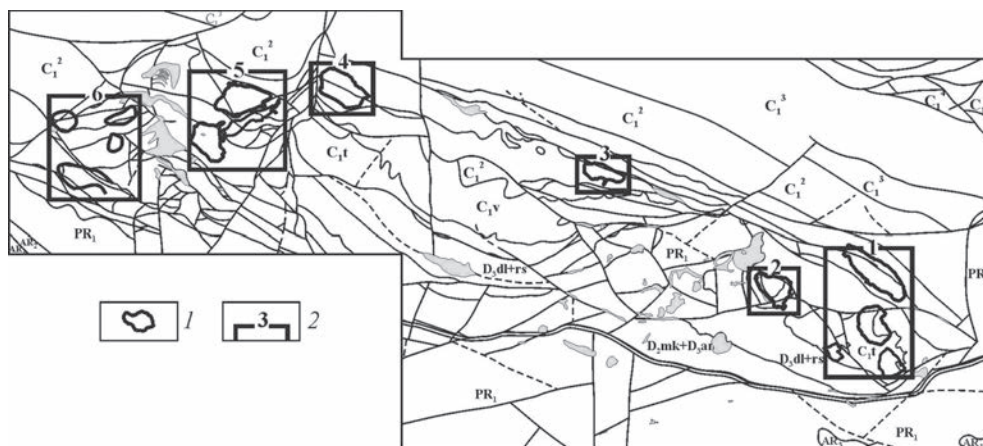


Рис. 4. Рудопрояви *REE* Південно-Донбаської металогенічної зони: 1 — контури кар'єрів; 2 — перспективні площі: 1 — Жоголівська, 2 — Дальня, 3 — Стильська, 4 — Східна, 5 — Докучаєвська, 6 — Новотроїцька

ну до 0,5—3,5 км і більше. Серед тектонітів виділяються катаклазити, бластомілоніти та мілоніти.

Рудовмісними породами є аргілізити, що утворюють тіла неправильної форми з чіткими геологічними межами. Вони представлені чорними, темно-сірими, сірими, білими, жовто-сірими та бурими різновидами з уламками карбонатних та крем'янистих порід. Рудні тіла мають різноманітну текстуру (плойчасті, брекчієві, смугасті), часто зім'яті у складки. Потужність рудних тіл коливається від 0,3 до 61,5 м (рис. 5, б). Поширення аргілізитів у розрізі теригенно-карбонатних порід дуже нерівномірне: коефіцієнт рудності (відношення потужності рудного тіла до загальної потужності продуктивної тектонічної зони) в свердловинах змінюється від 0 до 1. Головним мінералом аргілізитів є каолініт, у невеликій кількості визначені сульфіді (переважно пірит), кварц та ін.

У процесі робіт відібрано літохімічні штафні та борозневі проби. У результаті хімічного аналізу визначено вміст  $\Sigma REE$ : у штафних пробах — 0,080—0,656 за середнього 0,293 %; у борозневих — 0,05—1,03 за середнього 0,144 % (рис. 6).

Детальніше речовинний склад аргілізитів Жоголівського рудопояву визначено під час дослідження малої технологічної проби вагою 50 кг, відібраної зі стінки Жоголівського кар'єру. Результати силікатного аналізу руд наведено у табл. 5.

Середній вміст  $\Sigma REE_2O_3$  в аргілітатах — 0,14%. За результатами мінералогічного аналізу (ла-

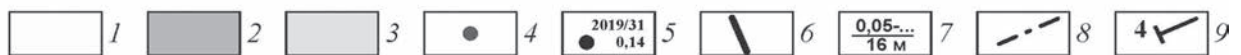
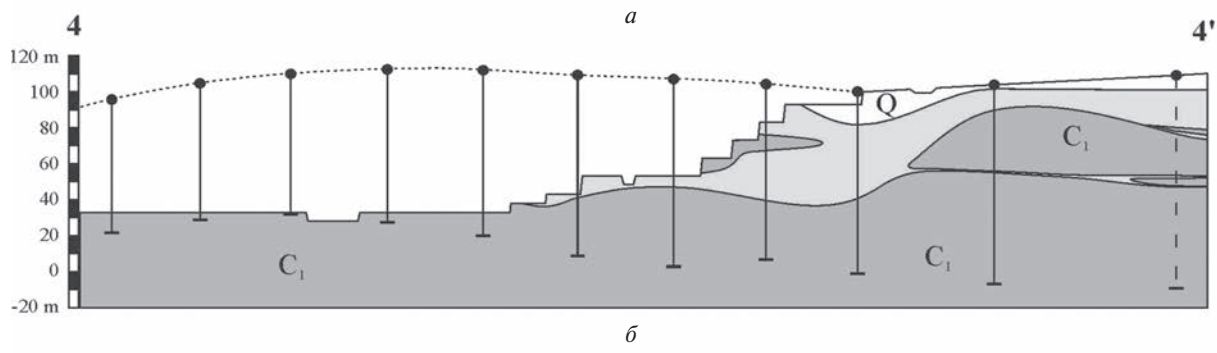
бораторії Кримського відділення Українського державного геологорозвідувального інституту, Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (ІГМР) НАН України, Приазовської комплексної геологічної експедиції), мінералів-концентратів *REE* не виявлено. Чорні різновиди аргілізитів мають високий вміст органічної речовини. За даними фазового аналізу (лабораторія ІГМР НАН України, аналітик Красюк О.П.) вміст  $C_{орг}$  у цих породах досягає 14 %. Селективний склад *REE* у рудах наведено у табл. 5.

Вміст *REE* церієвої (легкої) групи становить 66,77 %, ітрієвої (середньої, важкої та власне Y) групи — 33,23 %. За результатами цих аналізів встановлено, що *REE* Жоголівського рудопояву представлені суттєво ітрієвою групою: відношення  $Se/Y$  [2] становить 2. Жоголівський рудопояв можна віднести до іонної генетичної групи, до ітрієвоземельної рудної формації в алюмосилікатних породах.

Згідно з оцінкою, перспективні ресурси *REE* Жоголівського рудопояву за категорією  $P_2$  підраховано у кількості 7 099 т  $\Sigma REE_2O_3$ .

Технологічні дослідження виявлених екзогенних рідкісноземельних рудопоявів кори вивітрювання були здійснені співробітниками Провідного науково-дослідного інституту хімічної технології (москва, рф) 2008 року на матеріалі п'яти лабораторно-технологічних проб вагою перші десятки кілограмів. Були виконані детальніші дослідження лабораторно-технологічної проби, відібраної з керну свердловини, що розкрила багаті руди





**Рис. 5.** Геологічна схема Жоголівського рудопроаяву з пунктами аномального вмісту суми REE в аргілізитах (а) і розріз по лінії 4—4' (б): 1 — техногенні відклади (відвали); 2 — вапняки, доломітизовані вапняки кам'яновугільної системи; 3 — аргілізити з уламками вапняків і кременів; 4 — пункт відбору проб; 5 — точка з промислово значущим вмістом  $\Sigma REE_2O_3$ , результати хімічного аналізу, %; 6 — перетин борозневого опробування; 7 — у чисельнику вміст REE за результатами борозневого опробування: min — max — середньозважений, %, у знаменнику — потужність рудного перетину, м; 8 — контур Жоголівського кар'єра; 9 — лінія розрізу 4—4'



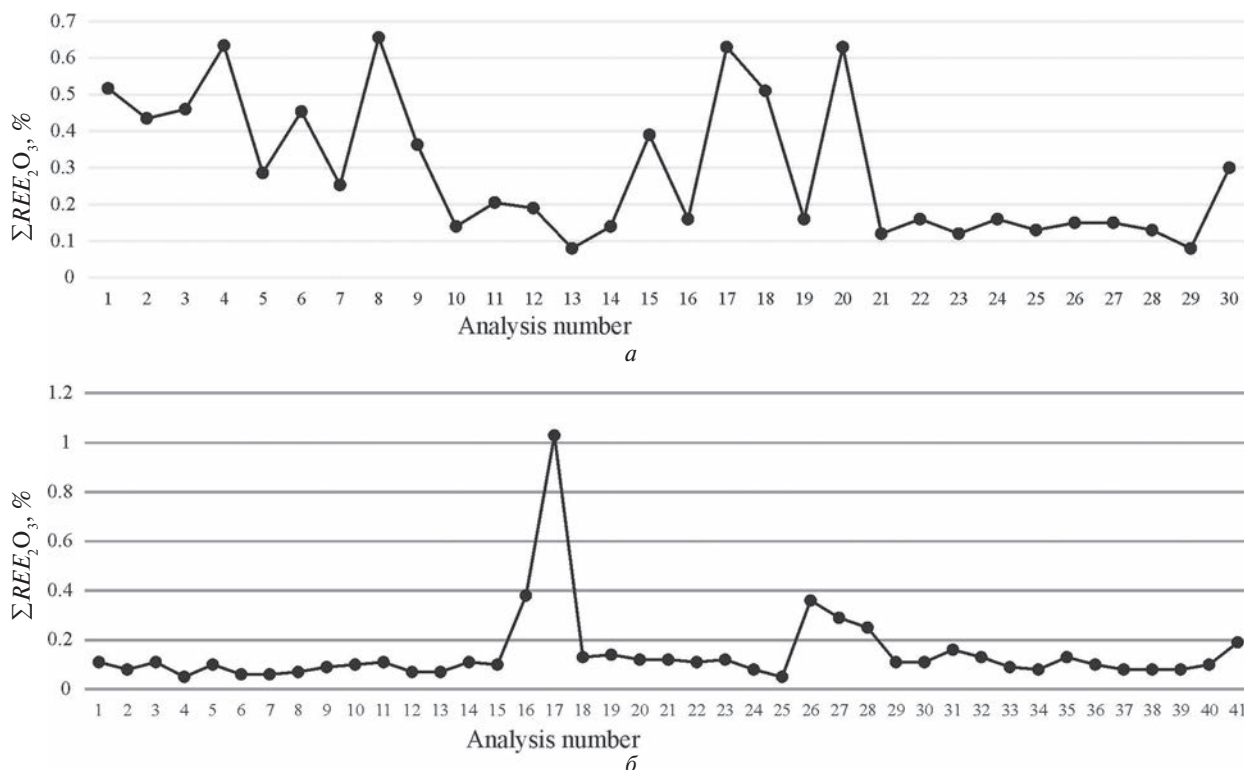


Рис. 6. Вміст REE у штуфних (а) і борозневих (б) пробах в аргілізитах Жоголівського рудопрояву

Таблиця 5. Речовинний склад аргілізитів за даними технологічних досліджень, %

Метод аналізу	Компонент	Вміст
Силікатний	SiO <sub>2</sub>	35,27
	TiO <sub>2</sub>	0,56
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,01
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,58
	FeO	1,57
	MnO	0,02
	MgO	1,23
	CaO	1,85
	Na <sub>2</sub> O	0,31
	K <sub>2</sub> O	1,55
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21
	H <sub>2</sub> O	2,29
	В. п. п.	23,02
	SO <sub>3заг.</sub>	7,53
Селективний REE	La	22,79
	Ce	14,36
	Nd	27,34
	Pr	2,28
	Sm	1,44
	Eu	0,73
	Gd	1,44
	Dy	0,91
Yb	1,37	
Y	27,34	

із вмістом  $\Sigma REE$  від 0,46 до 1,29 % за середнього 0,79 %.

З рудних мінералів, що містять REE, тут наявні у поодиноких знаках бастнезит, колумбіт, ітроциртоліт.

Проба характеризує зону глинистих продуктів вивітрювання лужних гранітів. Лабораторні дослідження допомогли встановити хімічний і мінеральний склад глинистої кори вивітрювання, склад індивідуальних REE та їх співвідношення, а також випробувати промислові технологічні методи вилучення  $\Sigma REE$  із пухких руд. Результати досліджень наведено у табл. 6.

Результати аналітичних досліджень свідчать про алюмосилікатну основу порід технологічної проби. Корисні компоненти — REE та Y. Вміст  $\Sigma REE_2O_3$  та  $Y_2O_3$  — 0,89 та 0,427 % відповідно.

У пробі переважають глинисті мінерали (88 %): каолінит, монтморилоніт (54,94 %) та слюди: гідрослюди, мусковіт, серицит (33,5 %).

Рідкісноземельні елементи пов'язані з фторкарбонатами групи бастнезиту. За мінеральним складом і вмістом цінних компонентів породи проби близькі до порід кори вивітрювання Тургайського прогину (Казахстан). У зв'язку з цим гідрохімічне розкрит-

тя приазовської руди у пробі було прийнято за аналогією до тургайських руд. Розкриття виконували двома методами: сульфатизації з подальшим водним вилуговуванням *REE* і прямим сірчаноокислотним розкриттям вихідної руди.

Фазовий хімічний аналіз показав розкриття *REE* сірчаною кислотою на 99 %, що підкреслює їхній зв'язок із карбонатами. Результати дослідів із сірчаноокислотного вилуговування у різних режимах дали підстави зробити певні висновки.

1. Вилучення *Y* і  $\Sigma REE_2O_3$  у розчин, що виводиться у разі сульфатизації руди, досягає 92,01 і 94,48 % відповідно. Витрати сірчаної кислоти для цього — 0,8 т на 1 т руди.

2. У випадку прямого сірчаноокислотного розкриття вихідної руди (з витратою концентрованої  $H_2SO_4$  0,16 т на 1 т руди) вилучення цінних компонентів у виводний розчин становить, %: *Y* — 68,62;  $\Sigma REE_2O_3$  — 86,47.

3. В обох випадках вилучення *Y* з руди у св. 0314 нижче ніж вилучення  $\Sigma REE_2O_3$ , а за прямого сірчаноокислотного розкриття зни-

ження дуже значне  $\Sigma REE_2O_3 - Y = 17,85$  %. У разі сульфатизації вихідної руди ця різниця набагато менша і становить лише 2,27 %.

Цілком ймовірно, що цей ефект пов'язаний із тим, що *Y* знаходиться у рудах цього типу в більш кислотостійких мінералах, що важко розкриваються — черциті, циртолїті та ін. — у порівнянні з *REE*; останні перебувають у корі вивітрювання переважно у розсіяному, сорбованому вигляді. Тому в процесі вилуговування в розчин переходять переважно *REE*, а *Y* лише частково. Унаслідок сульфатизації відбувається руйнування зерен мінералів, що містять *Y*, а його вилучення різко зростає; *REE* переходять у розчин практично повністю.

4. Незважаючи на нижчі технологічні показники, отримані у результаті прямого сірчаноокислотного розкриття руди порівняно з сульфатизацією, перший спосіб може виявитися конкурентним, тому що передбачає витрати  $H_2SO_4$  у п'ять разів менше, ніж сульфатизація. Для визначення економічної ефективності обох способів переробки для даного типу сировини необхідні додаткові

Таблиця 6. Результати лабораторних досліджень технологічної проби

Хімічний склад		Мінеральний склад		Мікрокомпонентний склад	
Компонент	Вміст, %	Мінерал	Вміст, %	Мікрокомпонент	Вміст, %
SiO <sub>2</sub>	47,80	Слюдисті мінерали	33,50	F	0,6700
TiO <sub>2</sub>	4,18	(гідрослюда, мусковіт,		Th	0,0260
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,07	серицит)		Y	0,4270
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,11	Циркон	0,01	ZrO <sub>2</sub>	0,0190
FeO	0,10	Ільменіт, лейкоксен	4,18	Sn	0,0080
MnO	0,03	Апатит	0,93	Cu	0,2300
CaO	1,98	Бастнезит	1,54	Ni	0,0070
MgO	0,99	Флюорит	0,64	Zn + Co	1,5000
Na <sub>2</sub> O	0,88	Глинисті мінерали	15,00	Pb	0,0300
K <sub>2</sub> O	144,00	Монтморилоніт	39,94	Ga	0,0008
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,39	Карбонати (кальцит)	0,26	Cr	0,0020
S <sub>зар.</sub>	< 0,10	Оксиди і гідроксиди	4,00	V	0,0250
U	0,0024	заліза		Sc	0,0003
В. п. п.	14,24			Nb	0,0030
Σ	99,95			Ba	0,0200
H <sub>2</sub> O	8,26			Sr	0,4000
C	<0,05				
CaCO <sub>3</sub>	0,26				
CaF <sub>2</sub>	0,64				
ΣREE	0,89				

дослідження, зокрема експерименти із замкнутим оборотом промивних розчинів, що моделюють реальний виробничий процес.

Пошукові критерії охарактеризованих вище рудопроявів поділяються на дві групи: ті, що належать до вихідних гранітоїдів або метаморфічних порід і ті, що стосуються кори вивітрювання.

Характерні риси першої групи:

- підвищений вміст *REE*;
- форма знаходження, що обумовлює їхнє легке вилуговування;
- дещо незвичайні спектри лантаноїдів.

Характерні риси другої групи:

- добре розвинена тонкодисперсна глиниста кора вивітрювання;
- відсутність чи незначна частка стійких мінеральних форм *REE*.

Найважливішою умовою практичної цінності подібних руд є характер спектру *REE*.

**Висновки.** З наведеного аналізу потенційної рідкісноземельної мінерально-сировин-

ної бази Приазов'я можна зробити висновок, що хоча Україна і відстає від Китаю та Росії за обсягом запасів більшості *REE*, проте її потенційні родовища мають сприятливіші економічні параметри і можуть бути вигідними для освоєння.

В умовах обмежених можливостей інвестування об'єднаних зусиль суб'єктів господарювання, які тісно взаємодіяли раніше, має очевидну доцільність.

Маючи потужний сировинний, виробничий і кадровий потенціал, Україна спільно з Європою (технологія глибокої переробки) може претендувати в системі глобалізації економіки рідкісноземельної сировини на вище, ніж нині, місце. Насамперед це стосується металів, дефіцит яких передбачається на світовому ринку. Тут переваги українсько-європейського альянсу можуть проявитись найбільше, особливо для таких металів як середньо-важкі лантаноїди, споживання яких останнім часом швидко зростає.

#### Література

1. Коренев В.В., Стрекозов С.М., Козар М.А. Перспективна оцінка проявів рідкісних земель у Східному Приазов'ї та Південному Донбасі. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2011. № 9, ч. II. С. 291—301.
2. Усова Ю.Т., Солодов Н.А. Формационно-парагенетические типы месторождений иттрия и иттриевых лантаноидов. Москва: ВИЭМС, 1989. 45 с.
3. Шеремет Е.М., Кривдик С.Г., Козар Н.А., Стрекозов С.Н., Вовкотруб Н.В., Сетая Л.Д., Николаев И.Ю., Агаркова Н.Г., Дубина А.В., Гащенко В.А., Лунев Е.С. Фанерозойский магматизм Восточного Приазовья Украинского щита и связанные с ним полезные ископаемые (петрология, геохимия и рудоносность). Киев: Компринт, 2015. 318 с.

Надійшла 12.10.2022.

#### References

1. Korieniev, V.V., Strekozov, S.M., Kozar, M.A. (2011). Prospective evaluation of the manifestations of rare earths in Eastern Azov Area and Southern Donbass, *Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine*, No. 9 (part II), pp. 291-301 [in Ukrainian].
2. Usova, Yu.T., Solodov, N.A. (1989). Formation-paragenetic types of yttrium and yttrium lanthanides deposits. Moscow: VIEMS [in Russian].
3. Sheremet, Ye.M., Kryvdik, S.G., Kozar, N.A., Strekozov, S.N., Vovkotrub, N.V., Setaya, L.D., Nikolaev, I.Uu., Agarkova, N.G., Dubina, A.V., Gatsenko, V.A., Lunjov, Ye.S. (2015). Phanerozoic magmatism of Eastern Azov area of Ukrainian shield and related commercial minerals (petrology, geochemistry and ore potential). Kyiv: Comprint [in Russian].

Received 12.10.2022.



**L.D. Sietaiia**

<https://orcid.org/0000-0002-2996-0289>

**I.Yu. Nikolaev**

<https://orcid.org/0000-0003-2208-0032>

**S.M. Strekozov**

<https://orcid.org/0000-0002-1421-4910>

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
of the National Academy of Science of Ukraine

#### **RARE-EARTH DEPOSITS OF A NON-TRADITIONAL TYPE IN THE AZOV PART OF THE UKRAINIAN SHIELD**

The geological structure and prospects of a group of rare earth objects of exogenous origin, unconventional for the Ukrainian industry, are considered. According to the authors, this is mainly the clay weathering crust of granitoids and other aluminosilicate rocks, which contains sorbed or close to them elements of the yttrium group. A feature of ores of this type that may interest investors is the possibility of relatively simple and inexpensive extraction of REE.

As an example, a brief description of specific objects within the Azov part of the Ukrainian shield and on its border with Donbas is given. This is the weathering crust of subalkaline rare-metal granites of the Yekateriniv and Starodubiv massifs, aluminosilicate metamorphic rocks of the Valerianiv area, and tectonic mélangé zone argillites of the Zhogoliv area. The Y-Ta-Nb type of deposits was established on the massifs, and mainly yttrium-earth deposits on the metamorphic rocks. The actual results of the analytical research made it possible to draw conclusions about the qualitative and quantitative composition of ores and forecast resources. A comparison of industrial technological methods of extracting Y and  $\Sigma$ REE from loose ores of the Zhogoliv ore deposit was made. The expediency of further searches and research in order to expand the mineral raw material rare earth base of Ukraine is substantiated.

**Keywords:** *the Azov area, rare earth elements, weathering crust, analytical research.*