МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.069
УДК 653. 493 (477.62)

І.Ю. Ніколаєв, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: oemidonetsk@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-2208-0032
Є.М. Шеремет, д-р геол.-мін. наук, проф., зав. від.
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: evgsherem53@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-6097-0477
С.Г. Кривдік, д-р геол.-мін. наук, проф.
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: kryvdik@ukr.net; http://orcid.org/0000-0002-8356-1115
С.М. Стрекозов, пров. інженер.
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: ssss21161@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-1421-4910
Л.Д. Сєтая, старш. наук. співроб.
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: lasetaya@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-2996-0289
Інститут геохімії, мінералогії
та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

ПРОГНОЗУВАННЯ РУДОПРОЯВІВ У ПІВДЕННО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ УКРАЇНИ

Розглянуто узагальнення аспектів прогнозування рудопроявів у Приазовському мегаблоці Українського щита та зоні його зчленування з Дніпровсько-Донецькою западиною на основі комплексних (геологічних, петрологічних, геохімічних, геоелектричних) критеріїв рудоносності. Це узагальнення розглядається з точки зору його застосування для прогнозування корисних копалин в інших докембрійських або фанерозойських регіонах. Показано, що просторовий розподіл рудопроявів визначається закономірною приуроченістю до певних геотектонічних структур зі зміною петрогеохімічних характеристик речових носіїв зруденіння. Окремо розглянуто Оріхово-Павлоградську шовну зону (ОПШЗ) як зону підсуву Середньопридніпровської плити під Приазовську. Наведено стислий опис її геологічного розвитку та охарактеризовані металогенічні зони, кожна з яких має петрологічні та геохімічні особливості і перспективи рудоутворення. Аналіз складу акцесорних мінералів як показників металогенічної спеціалізації у різних субдукційних частинах Приазовського мегаблоку показав його змінення із заходу від сутурової зони субдукції ОПШЗ на схід до тилової її частини — Східного Приазов'я. Під час аналізування геоелектричної моделі Приазовського мегаблоку виявлено її зв'язок зі стадіями метаморфізму порід. Глибинні (до 50 км) низькоомні аномалії, що характеризують протяжні тектонічні структури (шовні зони), можуть слугувати покажчиками прогнозних площ для пошуків ендогенних корисних копалин. Геоелектричні аномалії тяжіють до тектонічних вузлів і геохімічних аномалій, вже виявлених у результаті геологічної зйомки, і можуть бути використані для прогнозування площ, перспективних на рудопрояви. У генетичному аспекті ці закономірності певною мірою пояснюються з позицій концепції тектоніки плит. У статті приділено увагу також Південно-Донбаській металогенічній зоні, розташованій на границі Дніпровсько-Донецької западини та Українського щита. Охарактеризовані рудні формації другого етапу тектоно-магматичної активізації, пов'язані з андезитовим магматизмом. Для перевірки рідкіснометалево-рідкісноземельних геохімічних аномалій Східного Приазов'я на основі комплексних критеріїв зруденіння рекомендовано площі і ділянки, перспективні на пошуки зруденіння.

Ключові слова: *прогнозування, рудопрояв, Приазов'я, зона зчленування, комплексні критерії рудоносності, перспективна площа.*

Цитування: Ніколаєв І.Ю., Шеремет Є.М., Кривдік С.Г., Стрекозов С.М., Сєтая Л.Д. Прогнозування рудопроявів у південно-східній частині України. *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 3. С. 69—86. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.069

Вступ. У цій статті* наведено узагальнення результатів досліджень з метою прогнозування ендогенних корисних копалин у південно-східній частині України. Це узагальнення свідчить про можливість його застосування в інших регіонах. Приазов'я — докембрійський регіон, час формування зони зчленування Приазов'я з Дніпровсько-Донецькою западиною визначено як фанерозойський. Але, незважаючи на величезний розрив у часі, зафіксовано закономірний зв'язок просторового прояву корисних копалин залежно від місця розташування відносно зони субдукції. Металогенічна зональність пов'язана з петрогеохімічною зональністю носіїв рудної речовини. Ця закономірність дає підставу для прогнозування і виявлення площ з новими рудопроявами у ході застосування комплексних критеріїв рудоносності.

Мета досліджень — показати, що прогнозування перспективних площ рудопроявів у південно-східній частині України можливе на основі комплексних критеріїв рудоносності (геологічних, петрологічних, геохімічних, геоелектричних), які доповнюють прогноз за даними геологічної зйомки.

Результати досліджень та їх обговорення. Південно-східна частина України у геологічному відношенні охоплює Приазовський мегаблок Українського щита (УЩ) і зону його зчленування з Дніпровсько-Донецькою западиною (ДДЗ), геологічну характеристику яких наведено в [1, 10]. Нижче розглянуто особливості прогнозування рудопроявів у цих районах.

Приазовський мегаблок. *Металогенічні особливості з позицій мобілізму.* Між Приазовським і Середньопридніпровським мегаблоками знаходиться Оріхово-Павлоградська шовна зона (ОПШЗ), яку ми розглядаємо як зону підсуву Середньопридніпровської плити під Приазовську [1]. Металогенічна зональність від зони підсуву до тильної частини Приазовської плити приблизно відповідає металогенічній зональності андійського типу [6].

Металогенічна зона (зона I) розвитку залізорудних родовищ (реліктів океанічного басейну) в Оріхово-Павлоградській шовній зоні з підзонами: IA — західна частина ОПШЗ; IБ — південно-східна частина ОПШЗ (західний фланг Західного Приазов'я) [9] (рис. 1).

Металогенічна зона (зона II) розвитку карбонатитових апатит-рідкісноземельних родовищ і рудопроявів, пов'язаних із чернігівським карбонатитовим комплексом. Ця зона знаходиться на переході континентального схилу до літосфери мегаблоку, тобто на границі між ОПШЗ і Західним Приазов'ям.

Зона металогенічної зональності (зона III) розпорошених рудопроявів Мо кварц-сульфідного типу і точок рідкісноземельної (*REE*) мінералізації — охоплює основну частину Західного Приазов'я з ареалом поширення граніт-гранодіоритових інтрузій (архейських, за даними Г.В. Артеменка) обіточненського комплексу (вапнисто-лужний магматизм) і сублужними ортитовими гранітами салтичанського комплексу. У цій зоні також наявні архейські зеленокам'яні структури — Гайчурська і Сорокинська, де поширені залізо- і золоторудні родовища і рудопрояви, утворені в археї. У Сорокинській зоні відомі також рідкіснометалеві пегматити.

Четверту зону металогенічної зональності (зона IV) названо зоною прояву рідкіснометалево-рідкісноземельної мінералізації, пов'язаної з гранітами кам'яномогильського комплексу.

П'ята зона металогенічної зональності (зона V) названа зоною рідкісноземельних родовищ і рудопроявів, пов'язаних із сієнітами сублужних південнокальчицького, хлібодарівського і октябрського комплексів, і охоплює всю територію Східного Приазов'я.

Петрохімічний склад магматитів у різних частинах Приазов'я. На графіках (рис. 2) нанесені значення середнього складу інтрузивних комплексів Західного і Східного Приазов'я, за [9]. Як видно з рис. 2, західна частина зони субдукції (Західне Приазов'я) характеризується вапнисто-лужним складом магматитів, а східна частина (Центральне і Східне Приазов'я) — сублужним і лужним. Наявність у Західному Приазов'ї магматитів сублужного складу салтичанського і чернігівського комплексів найімовірніше свідчить про те, що в процесі початкового підсуву плити під Приазовський мегаблок поряд з ініціюванням палінгенного магматизму існували глибинні розколи до ман-

* Думки рецензентів щодо цієї статті розділились. Одні пропонували відхилити рукопис на тій підставі, що він не містить оригінального матеріалу, інші, попри деякі зауваження і спірні моменти, відзначили низку позитивних моментів: потужний фактаж, комплексування різних методів прогнозування, що спостерігається вкрай рідко, виділення конкретних прогнозних площ. Редколегія більшістю голосів ухвалила опублікувати статтю і закликає читачів взяти участь в її обговоренні.

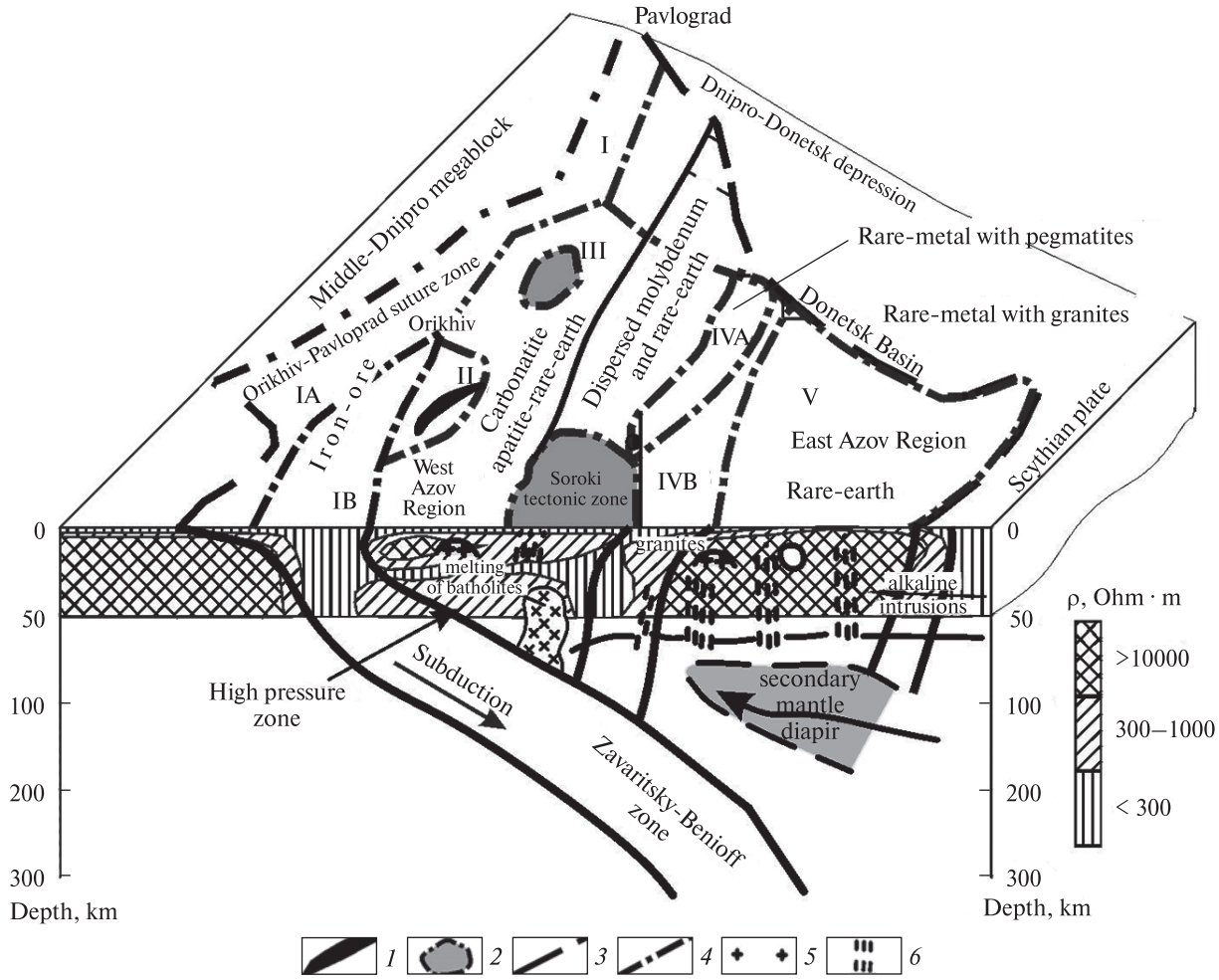

Рис. 1. Геодинамічна модель зв'язку металогенічної зональності з геоелектричною будовою (за даними магнітотелуричного зондування (МТЗ)) Приазовського мегаблоку УЩ. *Типи залізисто-кременистих формацій: 1* — карбонатитовий, *2* — залізорудні формації у зеленокам'яних поясах; *3* — контур Приазовського мегаблоку; *4* — границі металогенічних зон; *5* — граніти; *6* — флюїдопотоки. *Металогенічні зони*: I — Оріхово-Павлоградська шовна зона (ОПШЗ); IA — західна частина ОПШЗ, IБ — південно-східна частина ОПШЗ (Західно-Приазовський залізорудний район), II — зона апатит-рідкісноземельних проявів, пов'язаних із карбонатитовим магматизмом; III — Західне Приазов'я — зона розпорошених проявів Cu, Mo і *REE*, пов'язаних із обіточненським і салтичанським комплексами; IV — зона рідкіснометалево-рідкісноземельних рудопроявів, пов'язаних із кам'яномогильським комплексом; IVA — зона рідкісноземельних пегматитів; IVБ — зона рідкіснометалево-рідкісноземельних рудопроявів; V — зона рідкісноземельних родовищ і рудопроявів, пов'язаних із сієнітами сублужного південнокальчицького і лужного октябрського комплексів

Fig. 1. The geodynamic model of the connection of the metallogenic zonation with the geoelectric structure (according to magnetotelluric sounding (MTS)) of the Azov megablock of the Ukrainian Shield. *Types of ferruginous-siliceous formations: 1* — carbonatite; *2* — iron ore formations in greenstone belts; *3* — outline of the Azov megablock; *4* — boundaries of metallogenic zones; *5* — granites; *6* — fluid flows. *Metallogenic zones*: I — Orikhiv-Pavlograd suture zone (*OPHZ*); IA — west part of the *OPHZ*, IБ — south-east part of the *OPHZ* (West Azov iron ore district), II — zone of apatite-rare earth occurrences associated with carbonatite magmatism; III — West Azov Region — zone of scattered Cu, Mo and *REE* associated with Obitochnoe and Saltychan complexes; IV — zone of rare-metal rare-earth ores, associated with the Kamianimogyly complex; IVA — zone of the rare-earth pegmatites; IVБ — area of rare-metal rare-earth ores; V — zone of rare-earth deposits and occurrences associated with sienites of the subalkaline Southkalchyk and alkaline Octiabrsky complexes

тії. Вони були підвідними каналами карбонатитової магми, а також тепла і флюїдів, що несуть хімічні (більш лужні) рухливі компоненти і *REE* у верхні шари земної кори, під час палінгенезу яких утворилися ортитові салтичанські граніти.

Акцесорні мінерали як показники металогенічної спеціалізації у різних частинах Приазовського

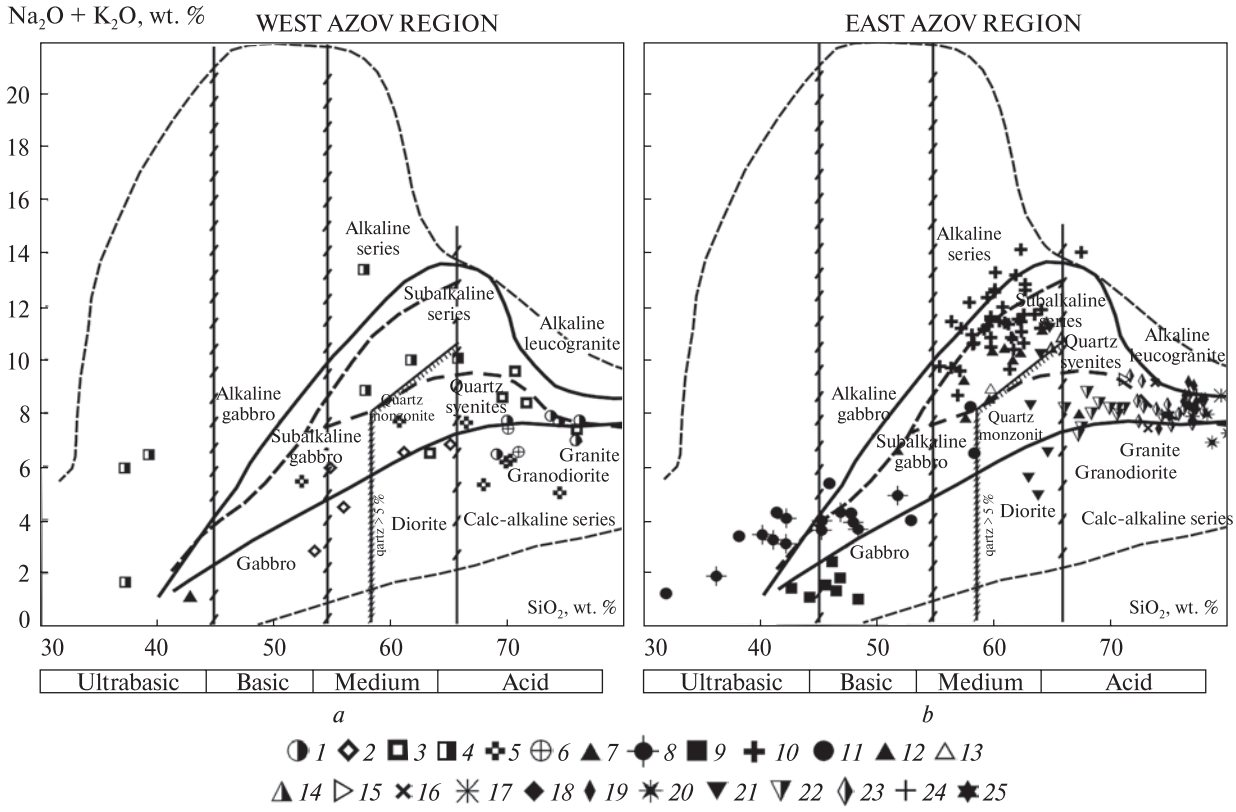

Рис. 2. Положення фігуративних точок складу порід Західного (*a*) і Східного (*b*) Приазов'я на класифікаційній діаграмі $Na_2O + K_2O$ — SiO_2 (основа, за В.І. Коваленко). *Західне Приазов'я* (середні значення): *1* — граніти і пегматити анадольського комплексу; *2* — діорити обіточненського комплексу; *3* — граніти салтичанського комплексу; *4* — карбонатити чернігівського комплексу; *5* — гранітоїди новопавлівського комплексу; *6* — породи шевченківського комплексу; *7* — ультрабазити гайчурського комплексу. *Східне Приазов'я*: *8—10* — Октябрський масив (октябрський комплекс): *8* — габро внутрішньої та ендоконтактової частин, *9* — ендоконтактові піроксеніти, *10* — маріуполіти, пегматити, сієніти; *11—17* — Південно-Кальчицький масив (південнокальчицький комплекс): *11* — габроїди, *12* — фаяліт-геденбергітові сієніти, *13* — роговообманкові сієніто-діорити, *14* — роговообманкові і біотит-роговообманкові сієніти, *15* — біотитові граносієніти, *16* — роговообманкові і роговообманково-біотитові граніти, *17* — дрібно-, середньозернисті аляскітові граніти; *18* — чарнокіти Хлібодарівського масиву (хлібодарівський комплекс); *19, 20* — біотитові порфіроподібні і аплітоподібні граніти кам'яномогильського комплексу: *19* — Кам'яномогильский масив, *20* — Катеринівський масив; *21—25* — хлібодарівський комплекс: *21—23* — Кальміуський масив: *21* — амфіболові сієніти, *22* — роговообманкові граносієніти, *23* — роговообманкові і біотит-роговообманкові граніти, *24* — апліт-пегматити, *25* — дрібнозернисті порфіроподібні граніти Ново-Янісольського масиву

Fig. 2. Position of figurative points of composition of the West (*a*) and East (*b*) Azov rocks on the $Na_2O + K_2O$ — SiO_2 classification diagram (based on V.I. Kovalenko). *West Azov* (average values): *1* — granites and pegmatites of the Anadol complex; *2* — diorites of the Obitochnoe complex; *3* — granites of the Saltychan complex; *4* — carbonatites of the Chernihivka complex; *5* — granitoids of the Novopavlivka complex; *6* — rocks of the Shevchenko complex; *7* — ultrabasites of the Gaichur complex. *East Azov*: *8—10* — Octiabrsky massif (Octiabrsky complex): *8* — gabbro; *9* — endocontact pyroxenites; *10* — mariupolites, pegmatites, sienites; *11—17* — South Kalchyk massif (Southkalchyk complex): *11* — gabbroids, *12* — fayalit-gedenbergite sienites, *13* — hornblende sienite-diorites, *14* — hornblende and biotite-hornblende sienites, *15* — biotite granosienites, *16* — hornblende and hornblende-biotite granites, *17* — fine-, medium-grained aliaskite granites, *18* — charnockites of the Khlibodarivka massif; *19, 20* — biotite porphyry and aplitiformgranites of the Kamianimogyly complex: *19* — Kamiani Mogyly massif, *20* — Katerynivka massif; *21—25* — Khlibodarivka complex: *21—23* — Kalmius massif: *21* — amphibole sienites, *22* — hornblende granosienites, *23* — hornblende and biotite-hornblende granites, *24* — aplite-pegmatites, *25* — fine-grained porphyry granites of the Novo-Yanisole massif

мегаблоку. Склад акцесорних мінералів у породах різних субдукційних частин Приазовського мегаблоку наведено у таблиці [9]. Вона наочно демонструє зміни у складі акцесорних мінералів по мірі руху із заходу від сутурової зони субдукції ОПШЗ на схід до тилової її частини — Східного Приазов'я. У межах ОПШЗ наскрізні мінерали присутні у всіх породних

утвореннях (магнетит, апатит, циркон), а індивідуальні, властиві лише деяким стратиграфічним підрозділам (рутил, ільменіт, сфен, ортит, турмалін, ставроліт, андалузит, графіт, шпінель), мають певні відмінності у породних комплексах Західного Приазов'я. Тут до наскрізних акцесорних мінералів, таких, як і в ОПШЗ, додаються сфен, пірит і халькопірит. У індивідуальних асоціаціях, за винятком акцесоріїв, властивих породам деяких стратиграфічних підрозділів, з'являються монацит, топаз, баделеїт, торит, колумбіт, флюорит, берил, пірохлор, фергюсоніт, молібденіт — мінерали-акцесорії глибинного чернігівського комплексу. Зовсім інший склад акцесоріїв у інтрузивних комплексах Східного Приазов'я. Поряд із зазначеними наскрізними мінералами, характерними для ОПШЗ і Західного Приазов'я, тут з'являються флюорит і бритоліт, а для індивідуальної асоціації характерні бастнезит, чевкініт, пірохлор, топаз, берил, каситерит, монацит, ксенотим і колумбіт.

Металогенічна зональність від поліметалевих рудопроявів на заході до рідкісноземельних на сході, що фіксується для даної області субдукції, чітко помітна у видовому складі асоціацій акцесорних мінералів, як це видно з розглянутого вище матеріалу.

Геохімічні особливості магматитів різних частин Приазовського мегаблоку. Порівняння розподілу значень концентрації елементів у гранітоїдних комплексах Приазов'я [9] показало, що концентрація Ba і Sr досить надійно характеризує диференціацію порід комплексів (рис. 3) — відношення Ba/Sr зменшується від більш основних до кислих порід. Вміст Cu підвищено у породах обіточненського (30—40 г/т) і салтичанського (45 г/т) комплексів Західного Приазов'я, а також у лужних породах октябрського комплексу Східного Приазов'я (55—28 г/т) (рис. 3).

В інших гранітоїдах Східного Приазов'я вміст Cu коливається від 6—12 до 18 г/т. Певною мірою можна говорити про вищий (у 2—6 разів) вміст Cu у гранітоїдах Західного Приазов'я по відношенню до більшості гранітоїдів Східного Приазов'я (виключаючи октябрський комплекс). Вміст Pb і Zn у породах розглянутих комплексів приблизно однаковий, за винятком лужних порід октябрського комплексу, де вміст Zn в 2—3 рази вище, ніж в інших гранітоїдах (рис. 3). Вміст Zr, Nb і Y (рис. 4) однозначно свідчить про рідкісно-металево-рідкісноземельну специфіку гранітоїдних комплексів Східного Приазов'я.

У Західному Приазов'ї високий вміст цих елементів є характерним для ортитоносного салтичанського комплексу. Вміст Li та Rb у розглянутих гранітоїдах приблизно однаковий, за винятком гранітів кам'яномогильського комплексу, які мають рідкіснометалеву специфіку (у них вміст Li та Rb в кілька разів вищий).

Досить цікавою, на наш погляд, є геохімічна відмінність гранітоїдних комплексів першого етапу вкорінення протерозойських гранітоїдів анадольського і хлібодарівського комплексів від порід пізнішого етапу — південнокальчицького, октябрського, кам'яномогильського комплексів Східного Приазов'я. На рис. 5 показано рідкіснометалево-рідкісноземельну специфіку другого етапу вкорінення протерозойських гранітоїдів. Вміст суми *REE*, Zr і Nb у 2—3 рази вищий, ніж у гранітоїдах першого етапу.

Наскрізні та індивідуальні асоціації акцесорних мінералів у породах різних субдукційних частин Приазовського мегаблоку
Cross-cutting and individual associations of accessory minerals in rocks of different subduction parts of the Azov megablock

Асоціація акцесорних мінералів	Субдукційна частина Приазовського мегаблоку		
	ОПШЗ	Західне Приазов'я	Східне Приазов'я
Наскрізна	Магнетит, апатит, циркон	Магнетит, апатит, сфен, циркон, пірит, халькопірит ільменіт	Магнетит, ільменіт, апатит, сфен, циркон, ортит, флюорит, бритоліт (окрім хлібодарівського і анадольського)
Індивідуальна	Рутил, ільменіт; сфен, ортит (західноприазовська серія), турмалін, ставроліт, андалузит (косівцівська товща), графіт, шпінель (темрюцька світа)	Рутил (обіточненський), ортит (салтичанський), монацит, ортит (анадольський), топаз, баделеїт, торит, колумбіт, флюорит, берил, пірит, паризит, бастнезит, пірохлор, молібденіт (чернігівський)	Бастнезит, чевкініт, пірохлор (окрім хлібодарівського та анадольського); топаз, берил, каситерит, монацит, ксенотим, колумбіт (кам'яномогильський), фергусоніт (чернігівський)

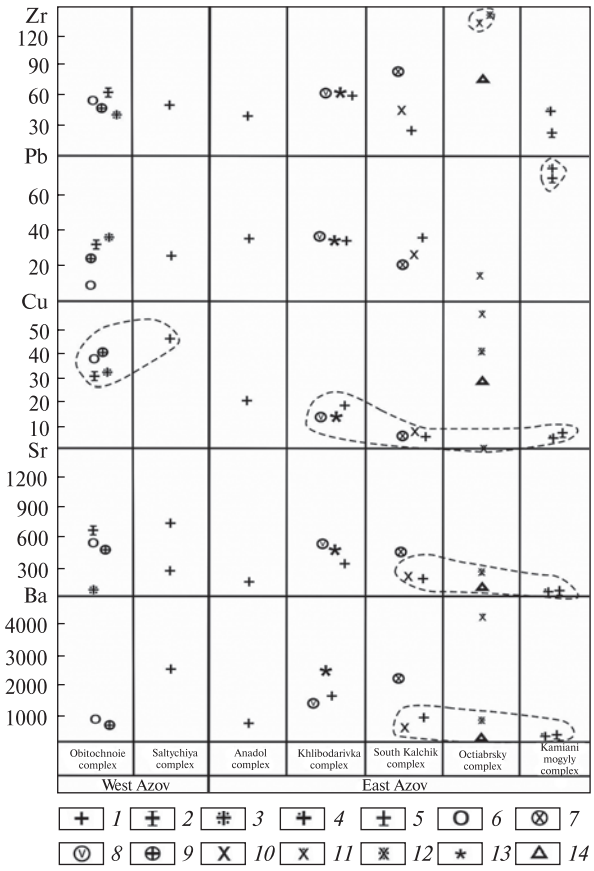

Рис. 3. Розподіл значень середнього вмісту Ba, Sr, Cu, Pb, Zn в гранітоїдах Приазов'я: *1* — граніти; *2* — плагіограніти; *3* — жильні граніти; *4* — біотитові граніти; *5* — аплітоподібні граніти; *6* — діорити; *7* — сієніт-діорити; *8* — монцодіорити; *9* — гранодіорити, тоналіти; *10* — сієніти; *11* — сієніти ендоконтактові; *12* — сієніти центральної частини; *13* — граносієніти; *14* — фойяїти

Fig. 3. The distribution of average values of Ba, Sr, Cu, Pb, Zn in Azov granitoids: *1* — granites; *2* — plagiogranites; *3* — vein granites; *4* — biotite granites; *5* — aplitiform granites; *6* — diorites; *7* — sienite-diorites; *8* — monzodiorites; *9* — granodiorites, tonalites; *10* — sienites; *11* — endocontact sienites; *12* — sienites of the central part; *13* — granosienites; *14* — foyaites

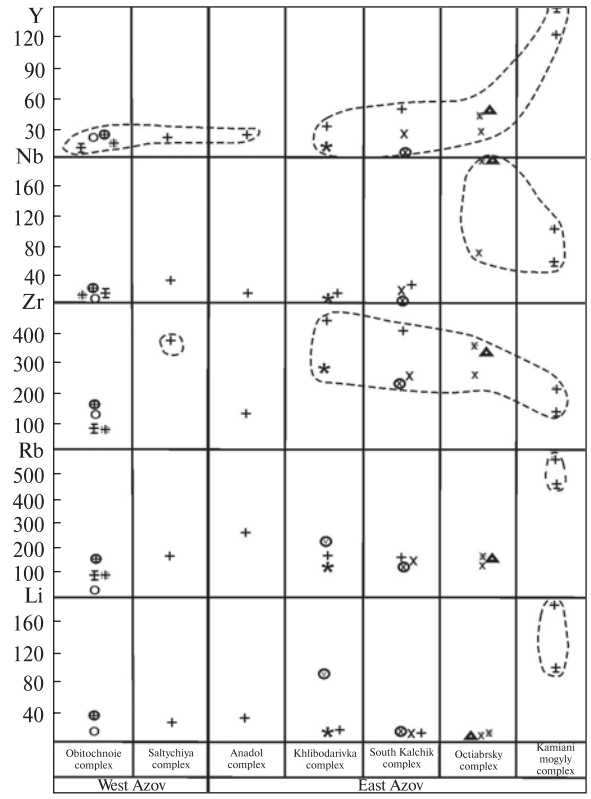

Рис. 4. Розподіл значень середнього вмісту Li, Rb, Zr, Nb, Y в гранітоїдах Приазов'я. *Умовні позн.* див. рис. 3

Fig. 4. The distribution of average values of Li, Rb, Zr, Nb, Y in Azov granitoids. *Symbols* see Fig. 3

Примітним є середній вміст F у розглянутих гранітоїдах. Він досить низький — у 2,5 рази нижчий за кларковий вміст для гранітів [3]. Виняток становлять лише граніти кам'яномогильського комплексу, де вміст F утричі вищий за кларковий для граніту [3].

На дискримінантну діаграму Nb—Y нанесені середні значення концентрації елементів у гранітоїдних комплексах Приазов'я (рис. 6).

Точки середнього вмісту Nb—Y у гранітоїдах Західного і Східного Приазов'я потрапляють у поле гранітів вулканічних дуг і сінколізійних гранітів *J* (виверженi) і *S* (осадочні) типів. Але у Східному Приазов'ї точки середнього вмісту Nb—Y у породах лужного октябрського комплексу і гранітах кам'яномогильського комплексу потрапляють у поле внутрішньоплитних гранітів (типу *A*), підкреслюючи цим їхню переважно рідкісноземельну специфіку.

Геоелектрична характеристика Приазовського мегаблоку. Геоелектрична модель Приазовського мегаблоку, побудована за даними польових досліджень [9], наведена на рис. 7. На розглянутій території можна виділити три низькоомні аномалії (100—300 Ом·м), коріння яких не зникають навіть на глибині 50 км. Це, по-перше, найінтенсивніша аномалія в районі ОПШЗ (між 20 і 60 км); по-друге, низькоомна аномалія між Розівською та Малоянісольською зонами глибинних розломів, тобто в Центральному Приазов'ї (між 120 і 140 км). Третя глибинна низькоомна ділянка розташована біля східного кордону Східного Приазов'я між двома зонами глибинних розломів (між 200 і 240 км).

Об'ємна картина розподілу електроопору (рис. 8) дає уявлення про поширення високого

опору (штрихування) у межах Середньопридніпровського і Приазовського мегаблоків [9]. ОПШЗ між двома блоками у плані проявляється як широка низькоомна аномалія (штрихування) з розширенням на південь. Так само проявлена зона низького опору уздовж Центрального Приазов'я та східного краю Східного Приазов'я. Ці зони низького опору показані штрихуваннями. Добре видно, що ОПШЗ має наскрізний характер тільки у нижній (південній) частині.

Центральна і північна частини ОПШЗ екрановані областями високого опору, визначеними на глибині низькоомними аномаліями. Область низького опору між Розівським і Малоянісольським розломами чітко проєктується на поверхню об'ємного блоку як наскрізна низькоомна структура. Низькоомна аномалія у східній частині Східного Приазов'я, якщо розглядати об'ємний блок опору східної частини УЩ, проєктується як наскрізна зона.

У результаті аналізування геоелектричної моделі Приазовського мегаблоку [4] унаочнюється її зв'язок зі стадіями метаморфізму порід. По-перше, Гуляйпольський блок відповідає високотемпературній амфіболітовій фації і характеризується відносно низькою електропровідністю з поверхні до 2 км, однак глибше електропровідність різко підвищується. По-друге, Андріївський блок, який відповідає низькотемпературній амфіболітовій фації і поліметаморфічним утворенням, має високу електропровідність з поверхні до 10 км.

У зону аномалії електропровідності потрапляють Гуляйпольська, Центрально-Сорокинська, Сорокинська і Федорівська залізорудні вулканогенно-осадочні графітові зони, пов'язані з вуглець-кременистою формацією, а також Корсацька залізорудна графітовмісна зона. ОПШЗ виділяється як регіональна глибинна низькоомна аномалія до глибини 50 км.

Глибинні (до 50 км) низькоомні аномалії, що характеризують протяжні тектонічні структури (шовні зони), можуть слугувати покажчиками прогнозних площ для пошуків рудопроявів за допомогою проєктування низькоомних аномалій на поверхню (як відображення шляхів руху мантійних флюїдів). Субмеридіональні провідники з поверхні відповідають Азово-Павлоградському (на заході) і Центрально-Приазовському (на сході) розломам [7].

Грузько-Єланчицький глибинний розлом характеризується аномалією магнітоваріаційних параметрів у зоні найменших значень. Якісна оцінка залягання цього провідника в одновимірному варіанті коливається від 10 до 50 км (рис. 9). Сумарна поздовжня провідність цього елемента — близько 1 000 См. Магнітоваріаційні параметри добре описують Криворізько-Павлівський розлом. Як правило, низькоомні аномалії вздовж зон глибинних розломів супроводжені зонами метасоматозу. У Східному Приазов'ї спеціальними роботами [7] установлено спряженість багатьох геохімічних аномалій із низькоомними аномаліями.

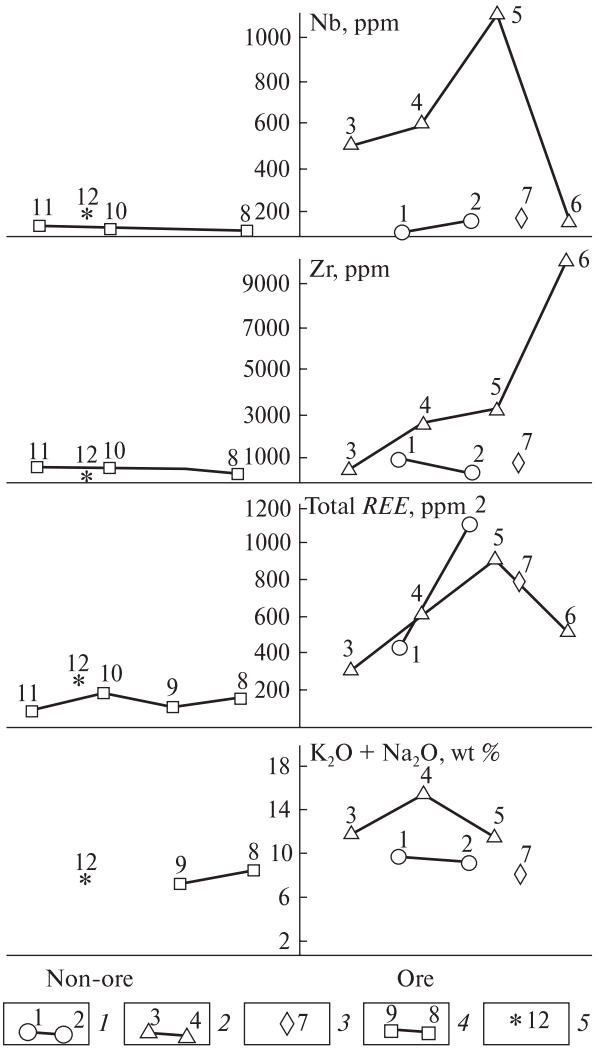

Рис. 5. Розподіл елементів у породах протерозойських комплексів Східного Приазов'я. *Комплекси*: *1* — південнокальчицький; *2* — октябрський; *3* — кам'яномогильський; *4* — хлібодарівський; *5* — анадольський

Fig. 5. The distribution of elements in the rocks of the East Azov Proterozoic complexes. *Complexes*: *1* — Southkalchyk; *2* — Octiabrsky; *3* — Kamianimogyly; *4* — Khlibodarivka; *5* — Anadol

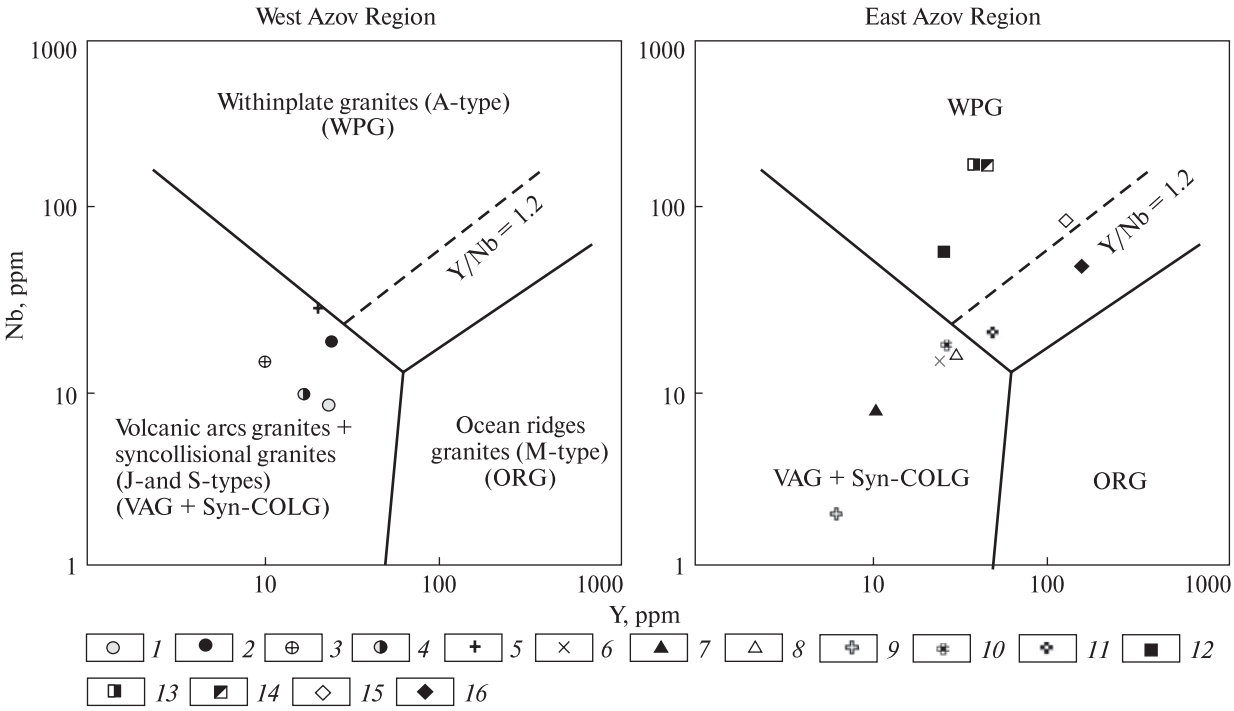

Рис. 6. Дискримінантні діаграми для гранітоїдів різних зон області субдукції Приазов'я (за J. Pearce et al., 1984): *1—5* — Західне Приазов'я: *1—4* — обіточненський комплекс: *1* — діорити, *2* — гранодіорити, тоналіти, *3* — плагіограніти, *4* — жильні граніти; *5* — граніти салтичанського комплексу; *6—16* — Східне Приазов'я: *6* — анадольські граніти; *7, 8* — хлібодарівський комплекс: *7* — граносієніти, *8* — граніти; *9—11* — південнокальчицький комплекс: *9* — сієнітодіорити, *10* — сієніти і кварцові сієніти, *11* — граніти; *12—14* — октябрський комплекс: *12* — ендоконтактові сієніти, *13* — сієніти центральної частини, *14* — тарамітові фойяіти; *15, 16* — кам'яномогильський комплекс: *15* — біотитові граніти, *16* — аплітовидні граніти. Джерела даних — середній вміст рідкісних елементів: у гранітоїдах Західного і Східного Приазов'я [5]; для октябрського комплексу [8]. Лінія Y/Nb = 1,2 (за G.N. Eby, 1999); середні значення вмісту Nb, Y: у гранітоїдах Західного Приазов'я [5], Східного Приазов'я [8]

Fig. 6. Discriminant diagrams for granitoids of different zones of the Azov subduction area (by J. Pearce et al., 1984): *1—5* — West Azov: *1—4* — Obitochnoe complex: *1* — diorites, *2* — granodiorites, tonalites, *3* — plagiogranites, *4* — vein granites; *5* — granites of the Saltychyia complex; *6—16* — East Azov: *6* — Anadol granites; *7, 8* — Khlibodarivka complex: *7* — granosienites, *8* — granites; *9—11* — Southkalchyk complex: *9* — sienitediorites, *10* — sienites and quartz sienites, *11* — granites; *12—14* — Octiabrsky complex: *12* — endocontact sienites, *13* — sienites of the central part, *14* — taramites foyaites; *15, 16* — Kamianimogyly complex: *15* — biotite granites, *16* — aplitiform granites. Data sources — average content of rare elements in the West and East Azov granitoids [5]; Octiabrsky complex [8]. Line Y/Nb = 1.2 (by G.N. Eby, 1999); average content values Nb, Y for granitoids of the West Azov [5], East Azov [8]

Прогнозування. Таким чином, регіональний прогноз у межах виділених областей повинен здійснюватися на основі запропонованої нами металогенічної зональності Приазовського мегаблоку як зони субдукції андійського типу. Ці металогенічні зони є найперспективнішими на виявлення рудопроявів певної металогенічної спеціалізації. За результатами регіонального прогнозування весь Приазовський мегаблок розділено на кілька металогенічних зон, у межах яких можливим є пошук рудопроявів, властивих тільки виділеним металогенічним зонам.

У Малоянісольській і Кальміуській зонах розломів перспективними ділянками є вузли перетину великих тектонічних порушень, до яких можуть бути приурочені геохімічні і геоелектричні аномалії.

Для перевірки рідкіснометалево-рідкісноземельних геохімічних аномалій Східного Приазов'я, виявлених за даними геологічної зйомки масштабу 1 : 200 000, було рекомендовано шість перспективних ділянок, суміщених із геоелектричними низькоомними аномаліями (перспективними площами), виділеними за допомогою методу проєктування глибинних низькоомних аномалій на денну поверхню. У результаті виділено площі, перспективні для подальших пошуків (рис. 10) [7].

Прогнозна площа 1. У південнокальчицькому інтрузивному комплексі Володарського масиву велика аномалія (приблизно 3,0 × 3,5 км)

приурочена до Азовської структури і охоплює її майже повністю (за винятком північної частини). Ця аномалія характеризується такою асоціацією хімічних елементів: Y, Yb, Ce, La, Zr, Be, W. Перші п'ять елементів характерні для Азовського родовища. Окрім них в Азовській структурі і породах обрамлення відзначено підвищений кларк Be і W, що збільшує металогенічний потенціал Володарського масиву. Ця поліелементна аномалія містить точки з аномальними значеннями адитивного показника азовського типу (2, 9, 10, 13—22) (див. рис. 10).

Прогнозна площа 2. У Кременівському масиві зафіксована невелика (2,8×1,3 км) комплексна аномалія двох елементів (Ce, Zr), яка тяжіє до західної частини Серединівської інтрузії. До неї потрапляє точка аномального значення адитивного показника азовського типу № 11 (див. рис. 10).

Прогнозна площа 3. На північний схід від Октябрського масиву, безпосередньо близько до нього, у гранітах обрамлення Хліборарівського масиву, і частково в прилеглих гранітоїдах Анадольського масиву, виявлено велику (7,8×4,5 км) поліелементну аномальну зону (див. рис. 10). Вона, у свою чергу, повністю входить у ще більшу, але моноелементну (ніобієву) аномальну зону, що охоплює весь Октябрський масив і породи обрамлення. У цій аномальній зоні спостерігається спільне знаходження елементів Y, Yb, Ce, La, Zr, Nb, Li, Mo, Sn. Перші п'ять елементів, а саме Y, Yb, Ce, La, Zr, характерні для Азовського родовища, тому невипадково до описаної поліелементної аномалії приурочені точки аномальних значень адитивного показника азовського типу (5—7). Природа інших елементів потребує розшифровки. Можливо, вона обумовлена кислим метасоматозом. Описана аномальна поліелементна зона належить до найперспективніших проявів рідкісних і рідкісноземельних елементів Східного Приазов'я.

Прогнозна площа 4. У гранітах анадольського масиву, на кордоні з Тавлинським плагіогранітним масивом архею і в породах останнього, визначено невелику аномальну зону (3,2×1,8 км), представлену асоціацією La і Ce (див. рис. 10). В її північній частині знаходиться менша за розмірами аномалія Pb. З огляду на геохімічну різнорідність трьох перелічених елементів, можна впевнено говорити про накладення тут геохімічно різних процесів.

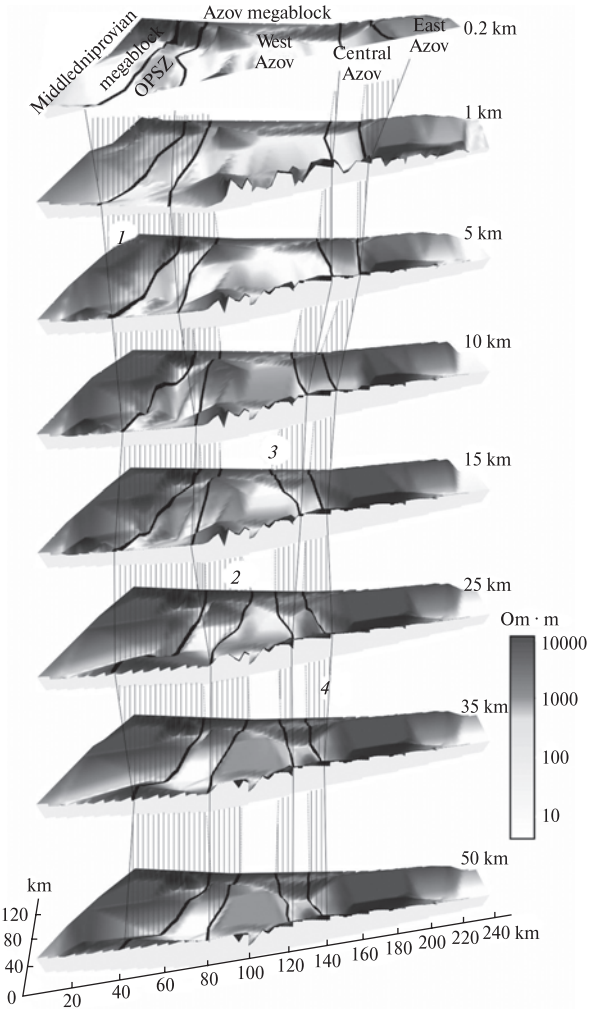

Рис. 7. Узагальнена схематична модель розподілу електроопору східної частини Українського щита, за даними магнітотелуричного (МТЗ) і аудіомагнітотелуричного зондування (АМТЗ). Площини зміщувачів розломів, за даними електророзвідки (*цифри у кружках*): *1* — Оріхово-Павлоградського, *2* — Західно-Приазовського, *3* — Розівського, *4* — Малоянісольського

Fig. 7. Generalized schematic model of distribution of the electrical resistance of the eastern part of the Ukrainian Shield according to magnetotelluric sounding (MTS) and audiomagnetotelluric sounding (AMTS). Planes of fault displacers according to electrical survey data (*numbers in circles*): *1* — Orikhiv-Pavlograd, *2* — West Azov, *3* — Rozivka, *4* — Maloianisol

Прогнозна площа 5. До всіх гранітних масивів кам'яномогильського комплексу приурочені великі у порівнянні з їхньою площею комплексні поліелементні аномалії, що продовжуються і в породах обрамлення. На південному сході Кам'яномогильського масиву виявлено комплексну аномалію Y, Yb, Li, Sn, Mo, Pb, Bi розміром 3,2×2,6 км (див. рис. 10).

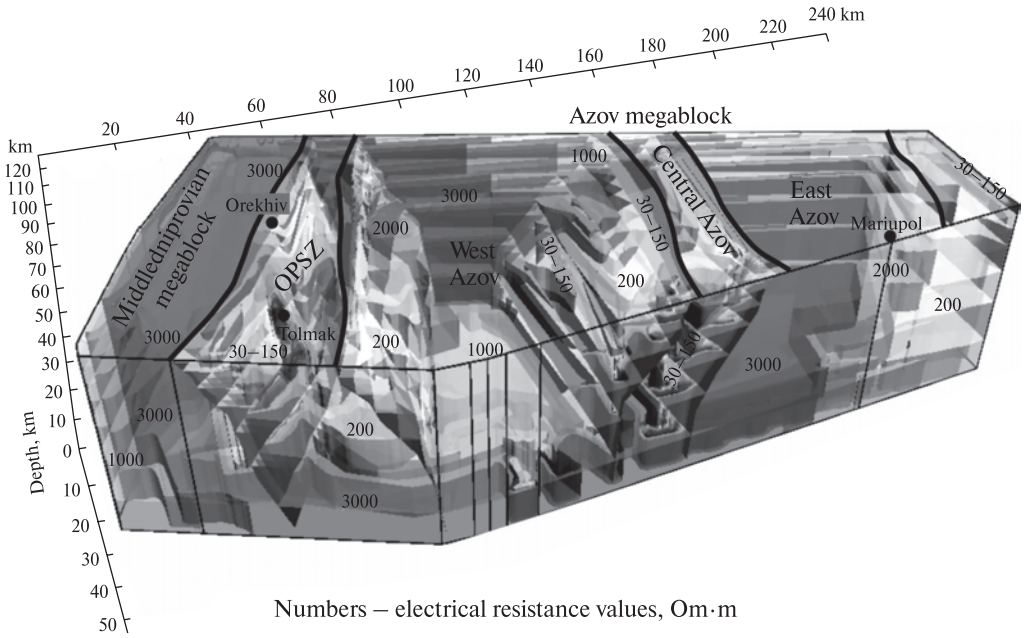

Рис. 8. Схематична геоелектрична модель східної частини Українського щита за результатами досліджень методом МТЗ

Fig. 8. Schematic geoelectric model of the eastern part of the Ukrainian Shield according to MTS research results

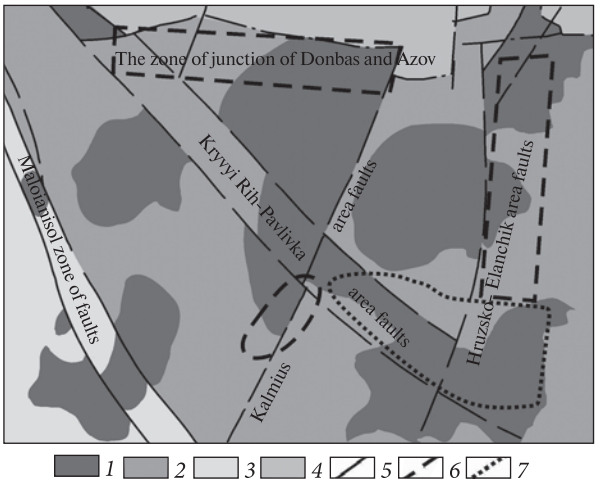

Рис. 9. Глибинні провідники у східній частині Приазовського мегаблоку: *1* — сієніти, граносієніти, граніти; *2* — діорити, гранодіорити; *3* — гнейси, кристалосланці; *4* — осадочні відкладення; *5* — розривні порушення; *6* — провідники у земній корі; *7* — відсутність провідників

Fig. 9. Depth conductors in the eastern part of the Azov megablock: *1* — sienites, granosienites, granites; *2* — diorites, granodiorites; *3* — gneiss, crystal shales; *4* — sediment; *5* — faults; *6* — conductors in the earth's crust; *7* — nothing of conductors

Прогнозна площа 6. У південній частині Катеринівського масиву зафіксовано велику (6,5 × 3,0 км) поліелементну аномалію Y, Yb, Li, Sn, Pb, Nb, Bi. Останній елемент є лише у породах обрамлення. Очевидно, що більша частина з них потрапляє на проєкції аномалій підвищеної електропровідності.

Таким чином, збіг геохімічних аномалій із проєкціями глибинних низькоомних аномалій на поверхню збільшує вірогідність прогнозу за даними геологічної зйомки.

Прогноз ділянок, перспективних на рудопрояви рідкісноземельних і рідкісних елементів, у Грузько-Єланчицькій зоні розломів і південно-східній частині Кальміуської зони розломів. Перспективні ділянки Східного Приазов'я на рудопрояви рідкісноземельних і рідкісних елементів виділені у Грузько-Єланчицькій зоні розломів і південно-східній частині Кальміуської зони розломів за аномаліями підвищеної електропровідності, отриманими за результатами об'ємного тривимірного моделювання [4] (рис. 11).

Такими ділянками є: 1) Грузько-Єланчицька зона розломів (до неї приурочена глибинна низькоомна електромагнітна аномалія, тут зафіксовані і протяжні зони розломів із флюорит-апатитовим зруденінням, пов'язані з граносієнітовою формацією); 2) південно-східна частина Кальміуської зони розломів (тут виявлено глибинну низькоомну електромагнітну аномалію; до самої зони приурочено кілька десятків рідкісноземельних рудопроявів).

Ці ділянки були виділені незалежно від даних геологічної зйомки за результатами профільних геоелектричних досліджень.

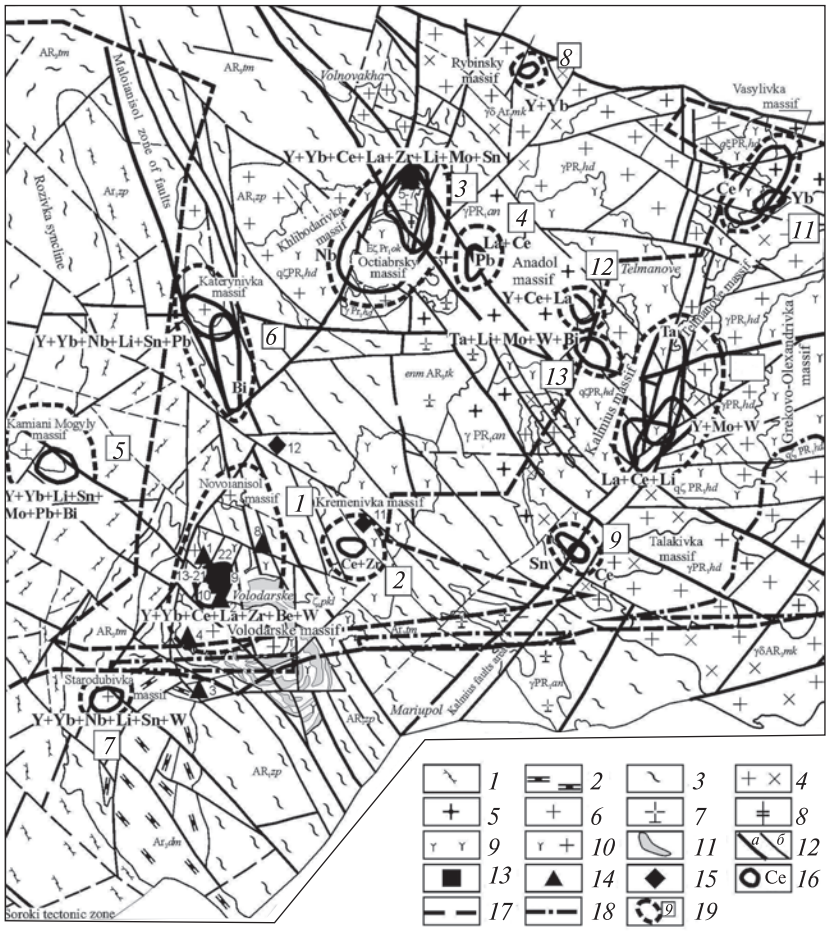

Рис. 10. Результати зіставлення геохімічних і геоелектричних аномалій Східного Приазов'я: *1* — плагіогнейси і кристалосланці; *2* — карбонатна товща; *3* — гнейси біотитові та біотит-амфіболові; *4* — кварцові діорити і гранодіорити; *5* — граніти і мігматити; *6* — граніти біотитові і біотит-мусковітові; *7* — плагіограніти і плагіомігматити; *8* — габро і габросієніти; *9* — кварцові сієніти; *10* — граносієніти; *11* — монцоніти; *12* — розривні порушення: *a* — глибинні, *b* — другорядні; *13—15* — адитивний показник (*Kk*La + *Kk*Ce + *Kk*Y + *Kk*Yb + *Kk*Zr): *13* — 100—320, *14* — 25—100, *15* — 15—25; *16* — поліелементні ореоли; *17*, *18* — контури низькоомних зон на глибині 500 м: *17* — до 1 000 Ом·м, *18* — до 50 Ом·м; *19* — прогнозна площа та її номер

Fig. 10. Results of the comparison of geochemical and geoelectric anomalies of the Eastern Azov: *1* — plagiogneisses and crystal shales; *2* — carbonate stratum; *3* — gneiss biotite and biotite-amphibole; *4* — quartz diorites and granodiorites; *5* — granites and migmatites; *6* — granites biotite and biotite-muscovite; *7* — plagiogranites and plagiomigmatites; *8* — gabbro and gabbrosienites; *9* — quartz sienites; *10* — granosienites; *11* — monzonites; *12* — faults: *a* — deep, *b* — minor; *13—15* — additive indicator (*Kk*La + *Kk*Ce + *Kk*Y + *Kk*Yb + *Kk*Zr): *13* — 100—320, *14* — 25—100, *15* — 15—25; *16* — polyelement aureoles; *17*, *18* — contours of the low anomalies at a depth 500 m: *17* — near 1 000 Om·m, *18* — near 50 Om·m; *19* — forecasting area and its number

Зона зчленування Східного Приазов'я і ДДЗ. *Геодинамічні особливості і магматизм.* Північна частина Східного Приазов'я у фанерозої у ході формування Дніпровсько-Донецького грабена зазнала тектоно-магматичної активізації, а південна — тектоно-магматичної активізації, синхронної з мезозойським грабеноутворенням Скіфської плити [10]. У Дніпровсько-Донецькому грабені, згідно з [2], франкський вулканізм представлений трьома серіями — базальт-трахітовою, лужно-базальтоїдною і толеїт-базальтовою, які за латераллю могли виливатися синхронно. Грабеноутворення у межах Скіфської плити відбувалося на гетерогенній континентальній корі на початку пізньотріасової епохи [2] у результаті тектонічних рухів. Характерною особливістю ранньомезозойських грабеноподібних прогинів Скіфської плити є чіткий просторовий зв'язок їх із суміжною Кримсько-Кавказькою орогенною областю. Не виключено, що і в Східному Приазов'ї в цей час відбулася тектоно-магматична активізація з виливами по мережі глибинних розломів давнього закладання анде-

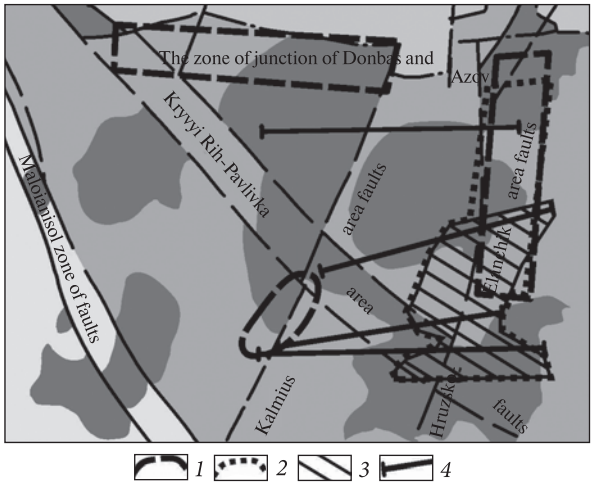

Рис. 11. Результати геоелектричних досліджень Східного Приазов'я методами магнітотелуричного зондування (МТЗ) і аудіомагнітотелуричного (АМТЗ): *1* — провідні об'єкти у земній корі; *2* — ділянка, перспективна на виявлення зруденіння; *3* — аномально низькоомна зона, за даними МТЗ; *4* — профіль геоелектричних досліджень

Fig. 11. The results of geoelectric surveys of the East Azov region by magnetotelluric sounding (MTS) and audiomagnetotelluric sounding (AMTS) methods: *1* — conductors in the earth's crust; *2* — perspective plot for detection of ore; *3* — zone of the low anomalies according to MTS; *4* — profile of the geoelectric research

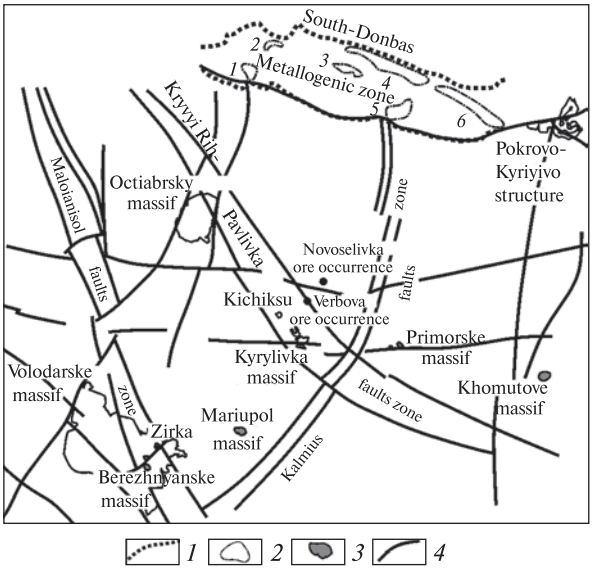

Рис. 12. Схема зчленування Донбасу зі Східним Приазов'ям: *1* — контури Південно-Донбаської металогенічної зони; *2* — контури рудних вузлів (1 — Новотроїцький, 2 — Докучаєвський, 3 — Стильський, 4 — Зерновий, 5 — Комишеваський, 6 — Комсомольський); *3* — сублужні і лужні масиви; *4* — головні розломи

Fig. 12. Scheme of the joint of Donbas with the East Azov: *1* — contours of the South-Donbas metallogenic zone; *2* — contours of ore units (1 — Novotroitsk, 2 — Dokuchaevsk, 3 — Styla, 4 — Zernove, 5 — Komyshevakha, 6 — Komsomolsky); *3* — subalkaline and alkaline massifs; *4* — major faults

зит-трахіандезитового вулканізму в ранньомезозойський час.

У даному регіоні, згідно з [10], виділені: а) геодинамічна обстановка закладення і розвитку Дніпровсько-Донецького авлакогену з формуванням розломів рифтогенного типу; б) обстановки, пов'язані з тектоно-магматичною активізацією за рахунок геодинамічних процесів у межах Скіфської плити і в складчастому Кримсько-Кавказькому поясі.

Більш ранній етап проявився на платформній основі у девоні, можливо у карбоні. Магматичними породами цього етапу є похідні глибинної лужнобазальтоїдної і, в меншій мірі, лужноультраосновної магми. Наявні представники різних фацій глибинності магматичних порід — ефузиви та їхні туфи, дайки та інтрузії повнокристалічних (плутонічних) магматичних порід.

У південній частині зони зчленування Донбасу з Приазов'ям (рис. 12) інтрузивні магматичні породи Покрово-Киріївської структури представлені сублужними і лужними породами — піроксенітами, перидотитами, габроїдами, нефеліновими сієнітами, маліньїтами (і сингенетичними їм субвулканічними утвореннями фонолітоїдних порід).

На північ від Покрово-Киріївської структури завдяки бурінню виявлено п'ять невеликих сублужних і лужних масивів (Зірка-1, Зірка-2, б. Бережна, Приморський, Маріупольський, Хомутовський) і дві субвулканічні структури (Кирилівська та Кічіксу). Масиви Зірка-1, Зірка-2 і б. Бережна складені переважно есекситами, лужними піроксенітами і шонкінітами. У невеликій кількості виявлено фельдшпатоїдні сієніти. Приморський масив складений габро-долеритами і нефеліновими есекситами, габро-піроксенітами, піроксенітами та якупірангітами. Виявлено лейкотрахіти та експлозивні породи (трахіандезити, латити). Хомутовський масив представлений піроксенітами, габропіроксенітами і габроїдами. Маріупольський масив складений габро, піроксенітами, габро-долеритами, габро-порфіритами, трапляються жили габро-пегматитів; піроксеніти іноді перешаровуються з габроїдами.

Трохи пізніше виливу базальтоїдних лав утворилася основна маса трахітів. Ймовірно, є і

пізніші трахіти, комагматичні андезитам. Другий етап магматизму (пізньопалеозойський і ранньомезозойський) представлений андезитами, трахіандезитами, частково — трахітами і кислими вулканітами.

Існує зв'язок проявів корисних копалин з типом магматизму. У Покрово-Киріївській структурі півдня зони зчленування знаходяться алмазоносні і неалмазоносні трубки вибуху, Ti-V і флюоритове Покрово-Киріївське родовища.

На південь від цієї структури, у межах Кальміуської площі, у субвулканічних структурах ранньомезозойського етапу активізації (Кирилівська та Кічіксу) виявлено поліметалеву мінералізацію (один рудопрояв Mo (Новоселівський), один рудопрояв W (Вербовий), один рудопрояв Pb (Кічіксу) (див. рис. 12)).

У Південно-Донбаській металогенічній зоні, яка є границею між ДДЗ і зоною зчленування, виявлені рудні формації другого етапу тектоно-магматичної активізації, пов'язані з андезитовим магматизмом: гідротермальні формації — кіноварна (первинні ореоли розсіювання у межах Доломітового, Західно-Доломітового, Комсомольського та Центрального Східного рудників); поліметалева (поліметалеві руди Південно-Донбаської металогенічної зони — Новотроїцький, Антоновський, Стильський, Комишувацький і Комсомольський рудні вузли); золоторудна (золоторудна мінералізація Докучаєвського району — ділянка Центральна, Стильський кар'єр — ділянка Вододільна, балка Глибока — ділянка Балка Глибока) і рідкісноземельна (*REE* ітрієвоземельної рудної формації — Жоголівський рудопрояв, кар'єри Східний і Стильський Докучаєвського флюсо-доломітного комбінату (ФДК), кар'єри Новотроїцький, Північний і район Південного кар'єра Комсомольського рудоуправління (РУ), Східна ділянка Родніковського родовища флюсової сировини та ін.).

Петрохімічні особливості порід магматитів. Петрохімія магматичних і вулканічних порід зони зчленування детально розглянута в [10]. Петрохімічною особливістю всіх палеозойських повнокристалічних, дайкових і ефузивних порід розглянутих масивів Східного Приазов'я є еволюція від ранніх порід натрієвої або калій-натрієвої серії до калієвої в проміжних і кінцевих диференціатах (рис. 13).

Останні представлені трахібазальтами, трахіандезитами, трахітами, нефеліновими сієнітами (ювітами, псевдолейцитовими породами),

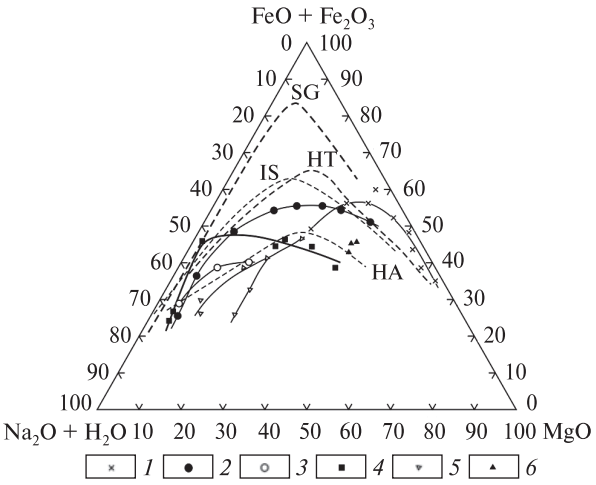

Рис. 13. Діаграма співвідношення вагових кількостей оксидів заліза, лужних металів та магнію в магматичних породах Донбасу у порівнянні з диференційованими вулканічними серіями Ісландії (IS), Гавайських островів (HT — толеїтова, HA — лужно-базальтова серії) і диференційованими інтрузіями Скаергарду (SG) [10] з доповненнями складу магматитів Східного Приазов'я: *1* — інтрузії приазовського комплексу; *2* — вулканіти волновасько-єланчицького комплексу; *3* — інтрузії покрово-киріївського комплексу; *4* — інтрузії південнодонбаського комплексу; *5* — андезит-трахіандезитовий комплекс; *6* — міуський комплекс

Fig. 13. Diagram of the ratio of the weight amounts of iron, alkaline metals and magnesium oxides in the Donbas magmatic rocks in comparison with the differentiated volcanic series of Iceland (IS), Hawaii (HT — tholeiitic, HA — alkaline-basalt series) and differentiated Scaergaard intrusions (SG) [10] with additions to the composition of the Eastern Azov magmatites: *1* — intrusions of the Azov complex; *2* — volcanites of the Volnovakha-Elanchyk complex; *3* — intrusions of the Pokrovo-Kyriyivo complex; *4* — intrusions of the Southdonbas complex; *5* — andesite-trachyandesite complex; *6* — Mius complex

хоча в деяких масивах породи K-серії з'являються вже на ранніх етапах їх формування (флогопітові пікрити у Покрово-Киріївському і шонкініти у Зірковському масивах). Окрім того, палеозойські породи, за винятком рудних різновидів, більш магнезіальні, за подібні породи лужних і сублужних протерозойських масивів Приазов'я та УЩ у цілому. Відповідно вони містять більш магнезіальні і фемічні мінерали (Ca-піроксени, амфіболи, олівіни, слюди), що загалом властиво багатьом гіпабісальним масивам і вулканічним серіям інших регіонів світу. Зіставлення основних плутонічних (габро, піроксеніти) і вулканічних порід із зони зчленування УЩ зі складчастим Донбасом, показане на діаграмі $Na_2O + K_2O$ — SiO_2, свідчить про їхню тотожність (рис. 14) [10].

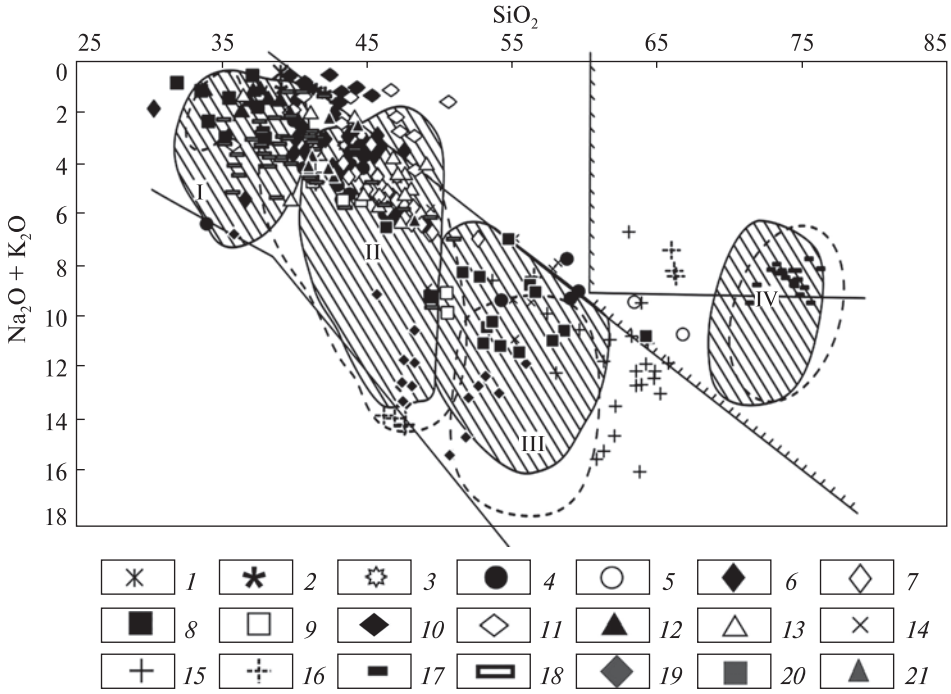

Рис. 14. Точки складу магматитів зони зчленування ДДЗ і Приазовського масиву на суміщеній діаграмі Прип'ятського і Дніпровсько-Донецького прогинів. *Джерело даних*: 1—3 — Н.В. Бутурлінов, 4, 5 — В.С. Гладкіх. *Масиви*: 6, 7, 20 — Зірка; 8, 9 — Хомутовський; 10, 11 — Маріупольський; 12, 13 — Приморський; 14, 15 — Кирилівська структура; 16, 18, 19 — Покрово-Киріївський; 17 — Приазов'я; 21 — Міуський. *Породи*: *1* — верліт; *2*, *6*, *8*, *10*, *12* — піроксеніти; *3*, *7*, *9*, *11*, *13* — габроїди; *4* — базальти; *5*, *14*, *15* — вулканічні породи середнього складу; *16*, *19* — фельдшпатоїдні лужні породи; *17* — грорудит, кислі породи; *18* — дайки; *20* — сієніти; *21* — породи середнього складу. *Поля*: I — лужно-ультраосновних порід; II — базальтових і фельдшпатоїдних порід; III — трахіандезито-базальтів і ортофірів; IV — кварцових порфірів

Fig. 14. The content points of the magmatites of the joint zone of the DDZ and the Azov massif in the combined diagram of the Pripyat and Dnipro-Donetsk depressions. *Data source*: 1—3 — N.V. Buturlinov; 4, 5 — V.S. Gladkih. *Massifs*: 6, 7, 20 — Zirka; 8, 9 — Khomutovsky; 10, 11 — Mariupol; 12, 13 — Prymorsky; 14, 15 — Kyrylivka structure; 16, 18, 19 — Pokrovo-Kyriyivo; 17 — Azov; 21 — Mius. *Rocks*: *1* — verlite; *2*, *6*, *8*, *10*, *12* — pyroxenites; *3*, *7*, *9*, *11*, *13* — gabbroids; *4* — basalts; *5*, *14*, *15* — volcanic rocks of medium composition; *16*, *19* — feldspatoide alkaline rocks; *17* — grorudite, acidic rocks; *18* — dikes; *20* — sienites; *21* — rocks of average composition. *Fields*: I — alkaline-ultrabasic rocks; II — basalt and feldspathic rocks; III — trachyandesite-basalts and orthophirs; IV — quartz porphyry

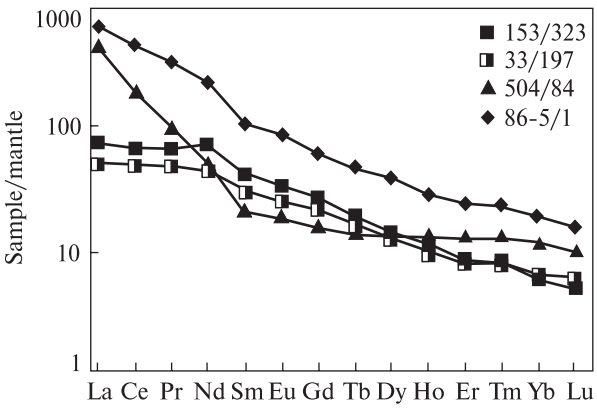

Рис. 15. Хондритнормовані спектри *REE* з порід Покрово-Киріївського масиву: 153/323 — піроксеніт; 33/197 — габро; 504/84 — нефеліновий сієніт; 86-5/1 — маліньїт

Fig. 15. Chondrite-normalized *REE* spectra from rocks of the Pokrovo-Kyriyivo massif: 153/323 — pyroxenite; 33/197 — gabbro; 504/84 — nepheline sienit; 86-5/1 — malignite

Це свідчить, що вулканіти зони зчленування є відображенням фанерозойського вулканізму, який розвивався у процесі утворення і становлення розглянутого грабена ДДЗ, хоча в осьовій частині зони зчленування девонський лужно-базальтоїдний магматизм доповнюється пізнішим андезитовим (трахіт-андезитовим), що, очевидно, можна пояснити впливом тектонічних процесів з боку Скіфської плити.

За петрохімічними особливостям дещо вирізняються висококалієві (до 15—16 % K_2O) так звані ортофіри та трахітові порфіри Кирилівської структури. Це можуть бути сильно перетворені (калішпатизовані) трахіти або гіпабісальні сієніти. Такі метасоматичні перетворення характерні для вулканічної та жерлової фацій, з породами яких буває пов'язана мінералізація Au, As, Hg, Pb, Zn, Cu, Bi.

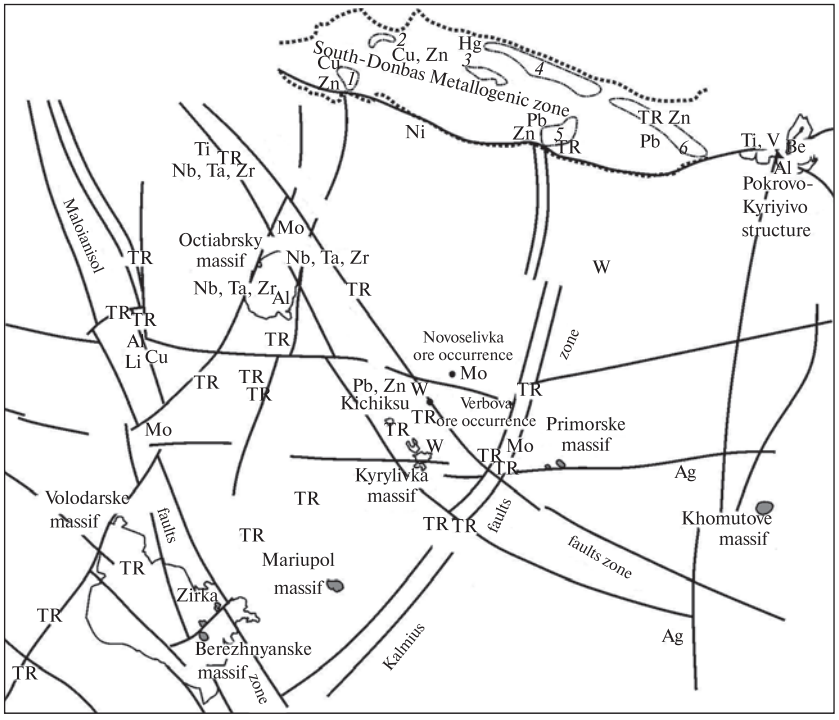

Рис. 16. Корисні копалини на схемі зчленування Донбасу з Східним Приазов'ям

Fig. 16. Minerals on the scheme of Donbas — East Azov joint

Геохімічні особливості магматитів. Існує геохімічна неоднорідність девонських і пізніших (мезозойських, пермських) магматичних порід у кожному невеликому масиві і прояві Східного Приазов'я [10]. Сублужні плутонічні породи Покрово-Киріївського масиву за геохімічними особливостями [10] займають проміжне положення між породами нормального і лужного рядів. Для них характерний підвищений вміст як сумісних (Cr, Ni, Co), так і несумісних (Nb, Zr, *REE*) елементів, а також підвищений або високий (до рудних концентрацій) вміст титану (рудні піроксеніти) і ванадію (в рудному піроксеніті — 875 ppm).

Піроксеніти, за даними *ICP-MS*, характеризуються підвищеним вмістом *REE* (189 ppm) і відсутністю європієвої аномалії в хондритнормованому спектрі (Eu/Eu* — 1,01) (рис. 15) [10].

За даними спектрального аналізу [10], піроксеніти і габро Хомутовського масиву характеризуються підвищеним вмістом (ppm) Nb (50 і 80 відповідно), Zr (260 і 180), Ba (400 і 500) за високого і підвищеного — Cr (2000 і 250), Ni (250 і 70), тобто в геохімічному відношенні вони подібні або ідентичні однойменним породам Покрово-Киріївського масиву.

Судячи з геохімічних даних, до Покрово-Киріївського масиву (комплексу) слід віднести маліньїти і нефелінові сієніти, а також дайкові грорудити. Маліньїти, як це властиво лужним породам, характеризуються найвищою концентрацією Nb, Zr, *REE*, Ba і Sr порівняно з іншими сублужними і лужними породами розглянутого району. За даними [10], середній вміст Nb у них становить 530 ppm, а в нефелінових сієнітах — 300. Трохи нижче концентрація Nb — 293 і 275 ppm відповідно. У високотитанистих грорудитах майже такий самий високий або близький середній вміст (ppm) Nb (240—486), Zr (1400—1500), *REE* (738), як і в маліньїтах. Трохи нижча концентрація цих елементів у більш лейкократових амфіболових низькотитанистих грорудитах. Однак у грорудитах різко знижується концентрація Sr і Ba, що характерно для такого типу порід.

Усі п'ять згадані вище палеозойські масиви основних порід зони зчленування мають петрохімічні і геохімічні особливості. Найподібніші між собою піроксеніти і габро Покрово-Киріївського і Хомутовського масивів. Зірка, Маріупольський і Приморський відрізняються один від одного і від двох названих вище масивів.

Різноманітні сублужні базальти зони зчленування УЩ і Донбасу характеризуються підвищеним вмістом Ti і помірним — P (0,3—1,0 % P_2O_5), а з рідкісних елементів-домішок — підвищеним Nb (50—120 ppm), Zr, *REE*, Sr і Ba.

Андезит-трахіандезитовий комплекс, обмежений віковим інтервалом 220—230 млн рр.,

завершує герцинську складчастість. За даними [10], ці породи відрізняються від базальтів зони зчленування УЩ і Донбасу насамперед низьким вмістом Nb (в середньому 7 ppm), але за іншими даними вміст Nb в середньому становить 40 ppm. Вулканічні і гіпабісальні породи андезитового і трахіандезитового складу різко відрізняються від більш меланократових сублужних базальтів низьким, характерним для андезитів, вмістом індикативного Nb. Згідно з Н.В. Бутурліновим [2], формування андезит-трахіандезитового комплексу пов'язане з субмеридіональними глибинними розломами і "міогеосинклінальним" тектонічним режимом. За іншими елементами-домішками (*REE*, слабко виражені позитивні європієві аномалії, Ba, Sr) розглядаються породи, в цілому подібні до типового андезиту. Породи андезит-трахіандезитового комплексу відірвані у своєму розвитку від лужнобазальтоїдного магматизму Східного Приазов'я і відображають інші умови тектоно-магматичної активізації Східного Приазов'я [10].

Прогнозування рудопроявів у зоні зчленування. Наведений вище матеріал підкреслює залежність локалізації рудопроявів від місця розташування в зоні зчленування і приуроченості до площ, які зазнали впливу різних геодинамічних обстановок (рис. 16).

Південна частина зони (Покрово-Киріївський рудний вузол), що характеризується рифтогенним магматизмом, є перспективною на пошуки трубок вибуху з алмазоносними кімберлітами; на зруденіння Ti та V, пов'язане з габроїдами сублужних і ультралужних масивів (Зірка-1, Зірка-2, б. Бережна, Приморський, Маріупольський, Хомутовський); на рудопрояви флюориту, приурочені до нефелінових сієнітів, а також, можливо, таких рідкісних елементів, як *REE* і Nb.

З андезитовим магматизмом, який проявився під впливом і/або паралельно з процесом формування Середземноморського рухомого поясу (Скіфська плита), можна пов'язувати мінералізацію, властиву складчастим областям палеозою і мезозою (Hg, Au, Pb, Zn, Cu, Mo, можливо, Au). Ця територія охоплює частину зони зчленування між Покрово-Киріївською структурою і Південно-Донбаською металогенічною зоною.

Покажчиком виявлення рудопроявів названих вище елементів є зафіксована у межах Кальміуської площі в субвулканічних структурах ранньомезозойського етапу активізації (Кирилівська та Кічіксу) поліметалева мінералізація (один рудопрояв Mo (Новоселівський), два рудопрояви: W і *REE* церієвої групи (Вербовий), один рудопрояв Pb (Кічіксу)), ряд пунктів мінералізації та контрастних геохімічних аномалій кольорових, рідкісних і благородних металів.

Однотипний набір рудних формацій у Дніпровсько-Донецькому авлакогені (мінералізація Hg, Pb, Zn, Cu, TR_2O_3, Au, Ag) та Східному Донбасі (мінералізація Cu, Pb, As, W, Mo, Li, Sb, Zn, Bi, Hg, Cd) та їх тісний парагенетичний зв'язок із мезозойським андезит-трахіандезитовим вулканізмом свідчать про єдиний рудний процес, поширений і на Східне Приазов'я. Відображенням цих процесів є комплекс рудних формацій (кіноварна, поліметалева, золоторудна, рідкісноземельна, уранова) у Південно-Донбаській металогенічній зоні.

Висновки. 1. Прогнозування рудопроявів у південній частині України можливе тільки на основі комплексних критеріїв рудоносності: геодинамічних, геологічних, петрологічних, геохімічних й геофізичних.

2. Прогнозування за методикою, що пропонується, на стадії геологічної зйомки масштабу 1 : 500 000 дасть змогу спрямувати роботи на пошуки корисних копалин під час геологічної зйомки масштабу 1 : 200 000.

3. Прогнозування за методикою, що пропонується, після геологічної зйомки масштабу 1 : 200 000 доповнює її прогноз, допомагає розбракувати геохімічні аномалії та виділити нові перспективні ділянки.

4. Розглянуті результати прогнозування корисних копалин у протерозойських утвореннях Приазов'я дають підставу вважати, що запропонована методика може бути застосована також на інших докембрійських щитах.

5. Геодинамічні моделі проявів корисних копалин, пов'язаних із фанерозойським магматизмом, розширюють перспективи їх пошуків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Сухой В.В., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Пигулевский П.И., Шпильчак В.А., Сетая Л.Д., Волкова Т.П. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита. Киев: Наук. думка, 2005. 190 с.
2. Бутурлинов Н.В. Магматизм грабенообразных прогибов юга Восточно-Европейской платформы в фанерозое: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Киев, 1979. 52 с.
3. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. *Геохимия*. 1962. № 7. С. 560—561.
4. Глевасский Е.Б., Крамар О.А. Геодинамические обстановки и металлогения урана центральной части Украинского щита. *Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколиш. середовища*. 2002. Вип. 5/6. С. 227—244.
5. Есипчук К.Е., Орса В.И., Щербаков И.Б., Шеремет Е.М., Скобелев В.М. Гранитоиды Украинского щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность. Справ. Киев: Наук. думка, 1993. 232 с.
6. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М.: Недра, 1976. 231 с.
7. Шеремет Е.М., Стрекозов С.Н., Кривдик С.Г., Волкова Т.П., Исаев В.А., Николаев И.Ю., Николаев Ю.И., Сетая Л.Д., Агаркова Н.Г. Прогнозирование рудопроявлений редких элементов Украинского щита. Донецк: Вебер, 2007. 220 с.
8. Шеремет Е.М., Кривдик С.Г., Пигулевский П.И., Кулик С.Н., Бурахович Т.К.,; Загнитко В.Н., Бородыня Б.Н., Стрекозов С.Н., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю. Субщелочной докембрийский магматизм и тектоно геофизические особенности Восточного Приазовья Украинского щита. Ред. А.В. Анциферов. Донецк: Ноулидж, 2010. 289 с.
9. Шеремет Е.М., Кулик С.Н., Кривдик С.Г., Пигулевский П.И., Бурахович Т.К., Загнитко В.Н., Бородыня Б.В., Стрекозов С.Н., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Сетая Л.Д., Агаркова Н.Г. Геолого-геофизические критерии рудоносности и металлогения областей субдукции Украинского щита. Донецк: Ноулидж, 2011. 285 с.
10. 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., Гаценко 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 28.03.2020

REFERENCES

1. Azarov, N.Ya., Antsiferov, A.V., Sheremet, E.M., Glevassky, E.B., Esipchuk, K.E., Kulik, S.N., Sukhoi, V.V., Nikolaev, Yu.I., Nikolaev, I.Yu., Pigulevsky, P.I., Shpilchak, V.A., Setaya, L.D. and Volkova, T.P. (2005), *Geologo-geoelektricheskaya model Orekhovo-Pavlogradskoy shovnoy zony Ukrainskogo shchita,* Nauk. dumka, Kyiv, UA, 190 p. [in Russian].
2. Buturlinov, N.V. (1979), *Magmatizm grabenoobraznykh progibov yuga Vostochno-Yevropeyskoy platformy v fanerozoye,* Abstr. of D.Sc. dissertation geol.-mineral. nauk, Kyiv, UA, 52 p. [in Russian].
3. Vinogradov, A.P. (1962), *Geokhimiya*, No. 7, RU, pp. 560-561 [in Russian].
4. Glevassky, Ye.B. and Kramar, O.A. (2002), *Proc. of the In-te of Environmental Geochemistry*, Iss. 5-6, Kyiv, UA, pp. 227-244 [in Russian].
5. Esipchuk, K.E., Orsa, V.I., Shcherbakov, I.B., Sheremet, E.M. and Skobelev, V.M. (1993), *Granitoidy Ukrainskogo shchita. Petrohimiya, geohimiya, rudonosnost,* Spravochnik, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 232 p. [in Russian].
6. Zonenshayn, L.P., Kuz'min, M.I. and Moralev, V.M. (1976), *Globalnaya tektonika, magmatizm i metallogeniya,* Nedra, Moscow, RU, 231 p. [in Russian].
7. Sheremet, E.M., Strekozov, S.N., Kryvdik, S.G., Volkova, T.P., Isaev, V.A., Nikolaev, I.Yu., Nikolaev, Yu.I., Setaya, L.D. and Agarkova, N.G. (2007), *Prognozirovanie rudoproyavleniy redkikh elementov Ukrainskogo shchita,* Veber publ., Donetsk, UA, 220 p. [in Russian].
8. Sheremet, E.M., Kryvdik, S.G., Pigulevsky, P.I., Kulik, S.N., Burahovich, T.K., Zagnitko, V.N., Borodynya, B.N., Strekozov, S.N., Nikolaev, Yu.I. and Nikolaev, I.Yu. (2010), *Subshelochnoy dokembriyskiy magmatizm i tektonogeofizicheskie osobennosti Vostochnogo Priazovya Ukrainskogo shchita*, Noulidzh publ., Donetsk, UA, 289 p. [in Russian].
9. Sheremet, E.M., Kulik, S.N., Kryvdik, S.G., Pigulevsky, P.I., Burakhovich, T.K., Zagnitko, V.N., Borodynya, B.V., Strekozov, S.N., Nikolaev, Yu.I., Nikolaev, I.Yu., Setaya, L.D. and Agarkova, N.G. (2011), *Geologo-geofizicheskie kriterii rudonosnosti i metallogeniya oblastey subduktsii Ukrainskogo shchita*, Noulidzh publ., Donetsk, UA, 285 p. [in Russian].
10. Sheremet, E.M., Kryvdik, S.G., Kozar, N.A., Strekozov, S.N., Vovkotrub, N.V., Setaya, L.D., Nikolaev, I.Yu., Agarkova, N.G., Dubyna, A.V., Gatsenko, V.A. and Lunev, E.S. (2015), *Fanerozoyskiy magmatizm Vostochnogo Priazovya Ukrainskogo shchita i svyazannye s nim poleznye iskopaemye (petrologiya, geokhimiya i rudonosnost),* Comprint press, Kyiv, UA, 317 p. [in Russian].

Received 28.03.2020

I.Yu. Nikolaev, PhD (Geology), Senior Research Fellow
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: oemidonetsk@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2208-0032
E.M. Sheremet, DrSc (Geology & Mineralogy), Prof., Head of Department
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: evgsherem53@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-6097-0477
S.G. Kryvdik, DrSc (Geology & Mineralogy), Prof.
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: kryvdik@ukr.net
http://orcid.org/0000-0002-8356-1115
S.M. Strekozov, Lead Engineer.
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: ssss21161@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1421-4910
L.D. Sietaia, Senior Research Fellow
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: lasetaya@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2996-0289

PREDICTION OF ORE OCCURRENCES IN SOUTH-EASTERN UKRAINE

We present aspects of predicting ore occurrences at the Azov megablock of the Ukrainian Shield and the zone below the Dnieper-Donetsk Depression basin based on coined (geological, petrological, geochemical, and geoelectrical) criteria. We show that the ore distribution is determined by a regular confinement to certain geotectonic structures with changes in the petrogeochemical characteristics of the ore zones. The Orikhiv-Pavlograd suture zone (OPHZ) is considered separately as the zone of subsidence of the Dnipro plate near Azov. A brief description of its geological development is given and metallogenic zones are characterized, each of which has its own petrological and geochemical features and prospects for ore formation. The analysis of the composition of accessory minerals as indicators of metallogenic specialization in different subduction parts of the Azov megablock show its change as it moved from the west from the sutural subduction zone of the OPHZ to the east to its rear part, — the East Azov. The analysis of the geoelectric model of the Azov megablock shows its relationship with the stages of metamorphism. Deep (up to 50 km) low anomalies characterizing long tectonic structures (suture zones) can serve as indicators for the search for endogenous minerals. Geoelectric anomalies are related to tectonic joints and geochemical anomalies identified by geological survey can be used to predict areas promising for the detection of ore. In genetic aspect, these patterns are to some extent explained from the standpoint of plate tectonics. The article also focuses on the South-Donbas Metallogenic Zone, located at the border of the Dnieper-Donetsk Basin and the Ukrainian Shield. The ore formations of the second stage of tectonic-magmatic activation associated with andesite magmatism are characterized. To test the rare-metal and rare-earth element geochemical anomalies of the East Azov region, based on complex criteria, areas promising for prospecting are recommended.

Keywords: predicting, ore occurrence, Azov, joint zone, complex criteria of ore content, perspective area.