

О. А. Лисенко, канд. геол. наук, завідувач відділу (Український державний геологорозвідувальний інститут (УкрДГРІ)),

І. Є. Меркушин, канд. геол. наук, старший геолог (ПК "Геолог"),

О. Б. Бобров, д-р геол.-мінерал. наук, професор, головний науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. Н. П. Семененка (ИГМР) НАН України)

РУДНА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ БЕРЕСТИВСЬКОЇ ЗЕЛЕНОКАМ'ЯНОЇ СТРУКТУРИ (Український щит, Західне Приазов'я)

У цій статті продовжується публікація матеріалів, що характеризують Берестівську зеленокам'яну структуру (ЗС), яка була встановлена в результаті геолого-прогнозного картування масштабу 1:50 000 (ГПК-50) у 2003–2008 рр. у районі відомої Сорокинської ЗС. У першій публікації [2] було розглянуто геолого-структурну позицію Берестівської ЗС, охарактеризовано розріз зеленокам'яних утворень, висвітлено основні особливості найбільш вивченої її частини – Миколаївської ділянки, проаналізовано золотоносність зеленокам'яних утворень структури та породних комплексів, що містяться в її облямуванні. Ця публікація присвячена характеристиці рудної мінералізації, яка була виявлена в породному комплексі Берестівської ЗС. Дослідженнями встановлені дорудні, продуктивні золотоносні і післярудні мінеральні асоціації. З'ясовано, що рудні процеси, які відбувалися в суміжних Сорокинській і Берестівській структурах, мають багато спільних рис.

Ключові слова: Берестівська структура, рудна мінералізація, мінеральна асоціація, мінерографічні дослідження, мікророзондовий аналіз.

Вступ

Берестівська зеленокам'яна структура знаходиться в 6–10 км на північний схід від Сорокинської ЗС (рис. 1). Обидві структури контролюються глибинними розломами: Сорокинська ЗС – однойменним Сорокинським, а Берестівська – Миколаївським [1, 2]. Простягання структур субпаралельне, північно-західне. Берестівська ЗС простежується з південного сходу на північний захід протяжністю близько 30 км від узбережжя Азовського моря до північно-західної околиці с. Карла Маркса [1, 2]. Просторове і геотектонічне положення дослідженої структури детально розглянуто в попередній публікації [2].

Проведення геологопрогнозного картування (О. М. Сватков та ін., 2010) дало змогу на площі, де виділено Берестівську ЗС, виконати доволі широкий комплекс досліджень і значно розширити інформацію про геологічну будову і перспективи виявлення корисних копалин у межах цієї ділянки надр. Геологічними, шліхо-геохімічними, лабораторно-аналітичними роботами були охоплені відслонення, свердловини, поверхневі гірничі виробки, що були пройдені в процесі виконання ГПК-50. Мінерографічні дослідження були зосереджені в найперспективнішому вузлі Берестівської ЗС – у місці перетину її Глодовським розломом та утворенням за рахунок цього флексуроподібного згину (рис. 2).

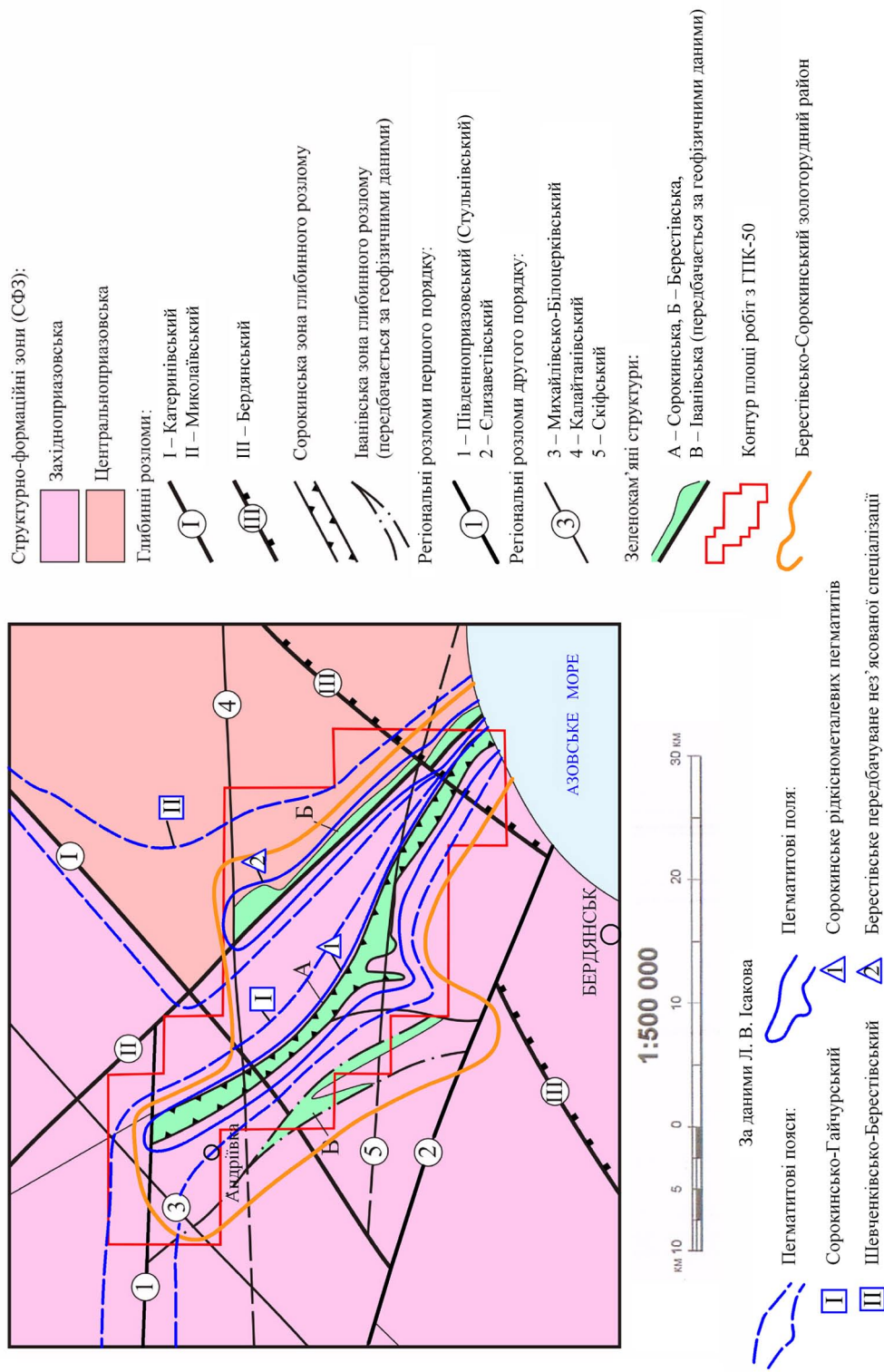


Рис. 1. Тектонічна схема району за результатами ГПК-50, доповнена даними Л. В. Ісакова [7]

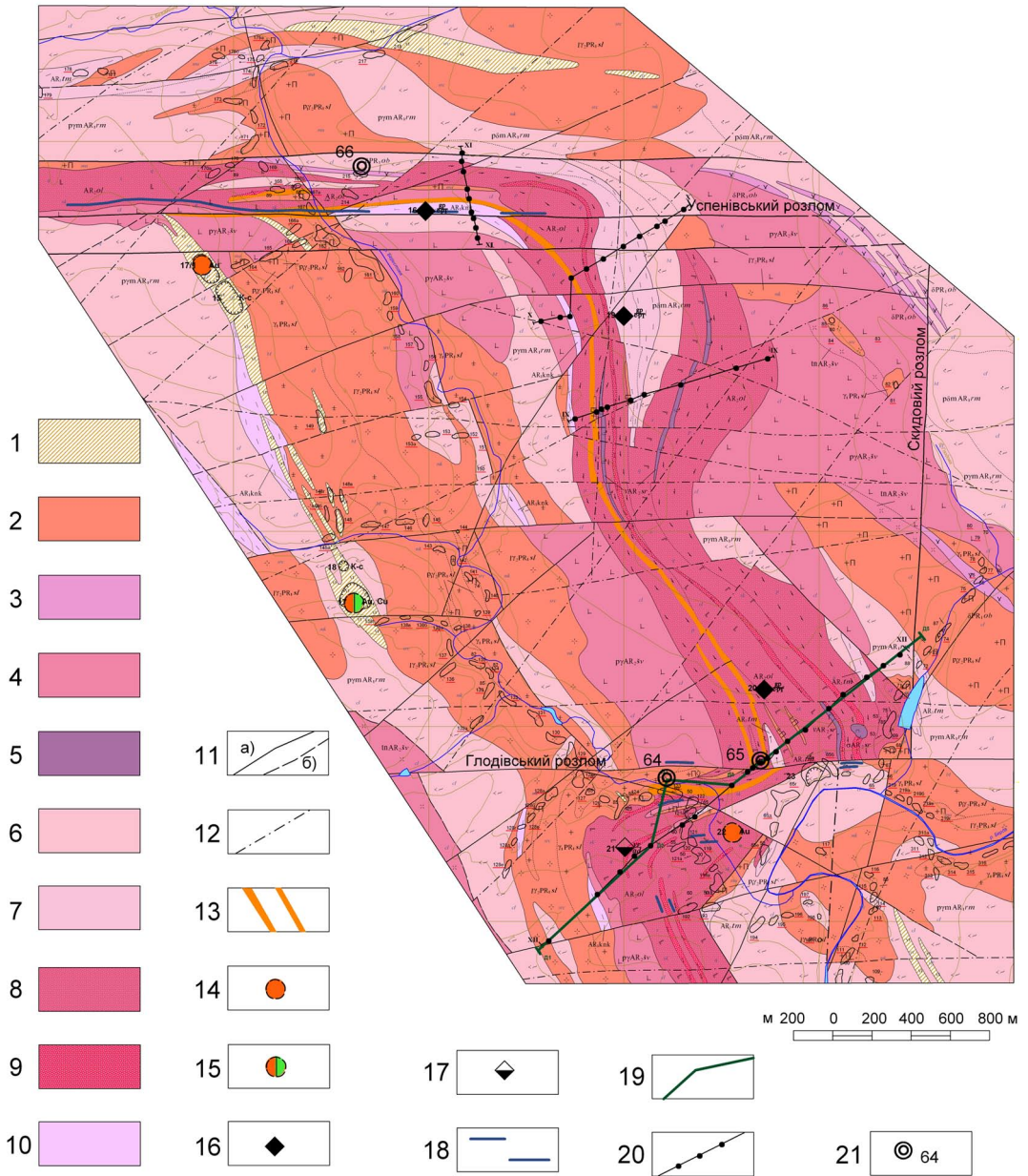


Рис. 2. Схематична геологічна карта Миколаївської ділянки

1 – метасоматити польовошпат-кварцові, кварцові; ультраметаморфічні та інтрузивно-магматичні комплекси; 2 – салтичанський, 3 – обіточенський, 4 – шевченківський, 5 – сорокинський, 6 – ремівський; супракрystalні стратифіковані підрозділи: 7 – темрюцька світа, 8 – ольжинська світа – метабазальти, амфіболіти, 9 – ольжинська світа – метакомаїїти; 10 – кайкулацька товща; 11 – розривні порушення за геологічними даними (а – визначені; б – імовірні); 12 – розривні порушення, визначені за геофізичними даними; 13 – золотоперспективні зони; 14 – прояви золота; 15 – прояв золота й міді; 16 – прояви графіту; 17 – прояв вермикуліту; 18 – золотоносні кварцові жили; 19 – опорний розріз по лінії Д₁-Д₅; 20 – профілі картувальних свердловин; 21 – похилі оцінювальні свердловини

Зразки з рудною мінералізацією, що відібрані з керна детально дослідженої сверд. 64, вивчав у відділі геології та мінералогії УкрДГРІ І. Є. Меркушин. Мікрондкові рентгеноспектральні аналізи рудних мінералів для визначення їх хімічного складу виконані в лабораторії прецизійних досліджень УкрДГРІ (аналітик О. В. Волошин). Результати мікрондкових досліджень наведені в табл. 1–12.

За результатами вивчення рудної речовини вперше визначено послідовність рудних процесів, які відбувалися в межах Миколаївської ділянки Берестівської ЗС, виділено відмінні за складом і часом утворення мінеральні асоціації, які поділяються на допродуктивні, продуктивні та післяпродуктивні. До допродуктивного комплексу належать мінеральні асоціації (їх виділено чотири), які передують золоторудному процесу. Продуктивний комплекс містить вісмут – сфалерит – магнетит-2 – халькопірит-2 – піритову (із самородним сріблом, вісмутином) і золото – галеніт – карбонат – піритову асоціації, з якими пов'язана золотолокалізація. Післяпродуктивні асоціації гематит-1 – марказитова і борніт – малахіт – гематит-2 – гетитові завершують рудний процес.

Зіставлення послідовності рудоутворення і мінеральних асоціацій, які визначені в межах Берестівської ЗС і суміжної Сорокинської структури, показує, що ці процеси протікали багато в чому аналогічно, а мінеральні комплекси мають подібні риси. Так, золото-сульфідний мінеральний комплекс продуктивного періоду рудоутворення, характерний для Сорокинської ЗС, об'єднує сульфідно-кварцову (халькопірит-піротин-кварцову із золотом) і золото-вісмут-карбонат-кварцову мінеральні асоціації. Окрім названих мінералів, до складу цих асоціацій входять сфалерит, пірит, самородний вісмут, гесит, вісмутин, телуриди вісмуту. Склад допродуктивного і післяпродуктивного комплексів Сорокинської структури також є дуже подібним до аналогічних комплексів Берестівської ЗС. Це дає підставу для позитивної оцінки, в першу чергу, перспек-

тив золотоносності Берестівської ЗС та її оточення, а також розвитку інших корисних копалин.

З історії вивчення рудної речовини

Перші знахідки рудних проявів і відповідної мінералізації в районі Сорокинської і Берестівської ЗС згідно з працею [8] датуються кінцем XIX сторіччя. Так, А. Носов уперше по б. Берестовій у 1877 р. відзначив халькопірит і мідну зелень. Г. Д. Романовський (1882) указував на сліди мідної зелені на березі р. Кільтичія біля с. Андріївка. Н. А. Соколов (1889) також біля с. Андріївка виявив кварцову жилу з примазками мідної зелені, а в долині р. Буртичія відзначив виходи червоно-бурого залізного кварциту.

Варто сказати, що геологічні дослідження того періоду були епізодичними, а мінералогічні знахідки – в основному, випадковими.

Початком системних досліджень з вивчення рудної речовини району Берестівської зеленокам'яної структури можна вважати 60-ті роки XX сторіччя. Саме в цей період було вперше видано геологічну карту масштабу 1:200 000 аркуша L-37-VII (Бердянськ) за результатами комплексної геолого-гідрогеологічної зйомки (Г. Л. Кравченко, 1962 р.), яка не втратила свого значення і до цього часу [3]. Одразу ж після цього трестами “Артемгеологія”, “Дніпрогеологія” та НДІ КДУ (м. Київ) була виконана поаркушна зйомка масштабу 1:50 000 (Г. Г. Коньков, Р. М. Полуновський, М. І. Лебедев, В. А. Цуканов та ін.). Водночас у невеликих об'ємах проводились пошукові роботи на кольорові метали (П. І. Тетерюк, 1965 р.), високоглиноземисту сировину (В. А. Ігнаткин, 1961 р.).

Наприкінці 60-х – початку 70-х рр. XX сторіччя на досліджуваній території проводились масштабні пошуки рідкісних металів, графіту, польовошпат-кварцової сировини. У 1968 р. складено прогнозну металогенічну карту на рідкісні і розсіяні елементи (Н. Г. Касаткін та ін.). У процесі пошукових робіт геологами-виробничниками спільно з науковцями

вивчався речовинний склад руд, генетичні аспекти, технологічні властивості корисних копалин.

Наступного періоду (до 1985 р.) складались металогенічні карти, максимального рівня досягли геологозйомочні роботи. Найдетальнішими і результативнішими виявились роботи з глибинного геологічного картування масштабу 1:50 000 (ГГК-50). Підсумком цих досліджень стало детальне розчленування породних комплексів, виявлення і вивчення нових родовищ і проявів корисних копалин, виділення перспективних пошукових ділянок.

У період до 2000 р. на території району виконувались роботи з ГГК-200, польові дослідження з геологічного довивчення площі (ГДП-200) аркуша L-37-VII (Бердянськ), проводились тематичні прогнозно-ревізійні роботи. Найбільш цілеспрямованими стали роботи з ГДП-200.

Аналізуючи стан мінераграфічних досліджень у районі Берестівської структури, які виконувались до 2000 року, варто констатувати, що вони не мали системності, проводились вибірково лише на виявлених об'єктах: родовищах і проявах графіту, золота, кольорових металів та ін.

Після 2000-го року в межах Берестівської ЗС та її облямуванні геологічні дослідження, в процесі яких вивчалась рудна речовина, фактично виконувались лише в межах проекту з ГПК-50. Рудна мінералізація досліджувалась у межах Миколаївської ділянки, яка розміщується в північно-західній частині структури (рис. 2).

Металогенічні особливості площі

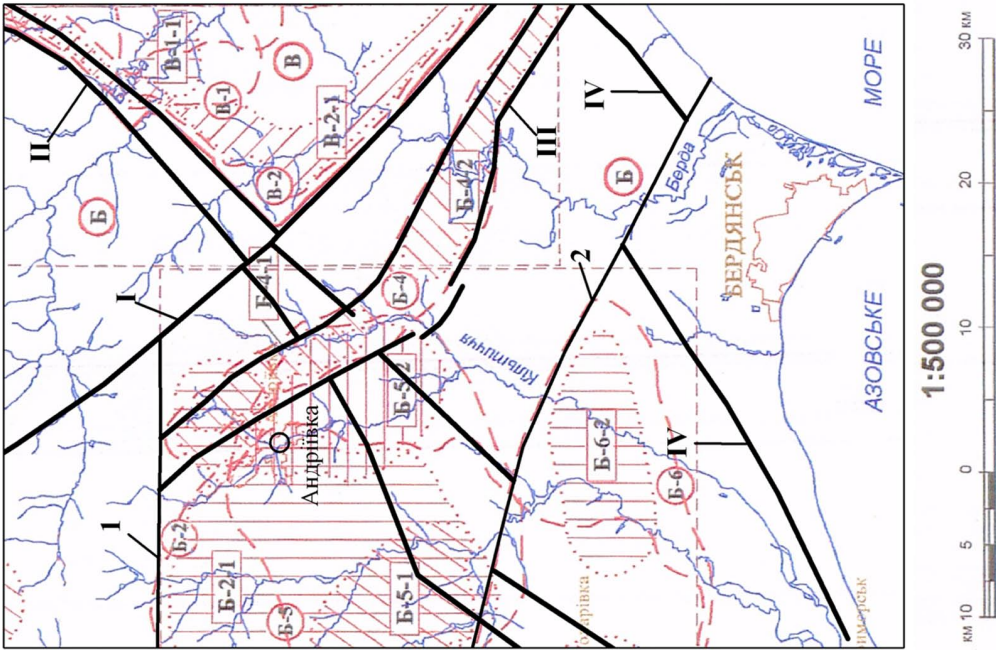
Тектонічна будова площі, в межах якої проводилося ГПК-50, визначає її металогенічне районування (рис. 3). На цій площі стикаються дві структурно-металогенічних зони (СМЗ) Приазовського геоблока УЩ: Західноприазовська та Центральноприазовська [3, 4] (О. М. Сватков та ін., 2010). Берестівська ЗС розміщується саме на границі цих СМЗ і закладена в зоні Миколаївського розлому, який розділяє названі

структурно-металогенічні підрозділи. Берестівська структура, як і Сорокинська, має накладений, первинний трогоподібний характер і незгідні співвідношення з породами фундаменту.

Згідно з працею [3] у межах Західноприазовської СМЗ з лінійними тектономагматичними структурами пов'язаний Сорокинський золото-рідкісноземельно-рідкіснометалевий рудний район, а північно-західна частина площі робіт належить до Андріївсько-Єлисеївського району керамічних пегматитів (рис. 3). Центральноприазовська СМЗ на площі, що вивчалась, представлена Темрюк-Троїцьким графіторудним полем Темрюк-Троїцького залізо-графіторудного району. У межах Сорокинського рудного району виявлені родовища рідкісних металів, золота і ставроліту [3, 5, 6] (О. М. Сватков та ін., 2010). Відомі прояви рідкісноземельних металів, заліза, кольорових металів, рідкісних металів (W, Nb, Ta, Li, Rb, Cs), золота і срібла та ін. [2, 3, 8] (Сватков О. М. та ін., 2010). Центральноприазовська СМЗ характеризується наявністю метаморфогенних родовищ графіту [3, 8], проявів заліза, рідкісноземельних елементів, міді, золота, алмазів [3].

Виконавцями ГПК-50 (О. М. Сватков та ін., 2010) за результатами проведених робіт виділено Берестівсько-Сорокинський золоторудний район (рис. 1), у межах якого містяться Сорокинська рудна і Берестівська рудоносна площі. У свою чергу, Сорокинська рудна площа складається з Андріївсько-Сорокинського, Ольгинсько-Кримського, Сурозького і Східного рудних полів.

За даними праці [5], досить широко проявлене в районі рідкіснометалевого зрудення зосереджене в межах Сорокинського пегматитового поля Шевченківсько-Сорокинського пегматитового поясу. У північно-західній його частині виділяються Комишуватський, Андріївський і Сорокинський вузли, а в центральній і східній – вузли “Балка Крута”, “Голубі Скелі” і “Садовий”. До вузла “Балка Крута” приурочене однойменне рідкіснометалево



У мовні позначення
Структурно-металогенічне районування

Структурно-металогенічні зони:

- ⓑ Західноприазовська
 - ⓓ Центральноприазовська
- Рудні (рудносні) райони:
- ⓑ-4 Сорочинський золото-рідкісноземельно-рідкіснометалевий район
 - ⓑ-4-1 Північнорокитинське золото-рідкісноземельно-рідкіснометалеве поле
 - ⓑ-4-2 Південнорокитинське золото-рідкісноземельно-рідкіснометалеве поле
 - ⓑ-5 Андріївсько-Слисейський район керамічних пегматитів
 - ⓑ-5-1 Слисейське поле керамічних пегматитів
 - ⓑ-5-2 Андріївське поле керамічних пегматитів
 - ⓑ-6 Андріївсько-Лозоватський діамантоносний район
 - ⓑ-6-2 Андріївське рудоносне поле

- ⓑ-1 Каратюк-Каратинський діамантоносний район
- ⓑ-1-1 Захарівське рудоносне поле
- ⓑ-2 Темрюк-Троїцький залізо-графітуродний район
- ⓑ-2-1 Темрюк-Троїцьке графітуродне поле

Розривні порушення

- 1 — Глибинні розломи:
 - 1 – Миколайський
 - 2 – Катеринівський
 - 3 – Сорочинський
 - 4 – Бердянський
- 1 — Головні розломи:
 - 1 – Стульнівський
 - 2 – Слизаветівський

Рис. 3. Фрагмент схеми металогенічного районування і тектонічної схеми кристалічного фундаменту району за результатами ГДП-200 (аркуш L-37-VII, Бердянськ)

родовище [5, 8]. Пізніше за геолого-структурними особливостями формування пегматитоносних гранітних комплексів було переглянуто схему розміщення пегматитових утворень і в районі Сорокинської та Берестівської ЗС виділено Сорокинське поле рідкіснометалевих пегматитів у складі Сорокинсько-Гайчурського пегматитового поясу і Берестівське передбачуване поле пегматитів із нез'ясованою спеціалізацією Шевченківсько-Берестівського пегматитового поясу [7] (рис. 1).

Пограничне положення Берестівської ЗС між двох різних СМЗ визначає специфічність металогенічних рис цієї структури і найближчого її облямування. Найрозвиненішою тут є золоторудна мінералізація [2] (О. М. Сватков та ін., 2010). У межах Берестівської структури роботами з ГПК-50 виявлено Миколаївський прояв золота (рис. 2, № 22 на карті), локалізований у катаклазованих і гідротермальних змінених окварцованих зеленокам'яних породах. Майже всі шліхові проби, які відібрані з алювіальних відкладів рр. Берестова та Берда, демонструють підвищену золотоносність – до 12 знаків на шліх. Відзначено велике поширення геохімічних аномалій золота (за даними хіміко-спектрального аналізу), що приурочені до метабазальтів ольжинської світи, в породах фундаменту, корі вивітрування, а також пухких відкладах осадового чохла.

Самородне золото діагностоване в найближчому облямуванні Берестівської ЗС. Золотоносні польовошпат-кварцові метасоматити розміщені в правому схилі долини р. Берестова і розкриті в Боцманівському та Скляному кар'єрах (рис. 2) (О. М. Сватков та ін., 2010). За результатами атомно-абсорбційного аналізу вміст золота в Боцманівському кар'єрі (рис. 2, № 17/1 на карті) становить від 0,35 до 34,76, а в Скляному сягає 24,4 г/т (В. В. Ширкунов, 2007). Згідно з працею [3] з польовошпат-кварцовими метасоматитами (вторинними кварцитами або кварцитолітами) Скляного кар'єру, який розміщується поблизу західної околиці с. Карла Маркса, пов'язаний Берестів-

ський прояв золота (рис. 2, № 17 на карті)). У зоні тріщинуватості, яка оперяє Миколаївський розлом, виявлені гнізда розміром до 25–30 см, що збагачені халькопіритом, ковеліном, борнітом, а також у них трапляється золото. У двох пробах виявлено до 40 золотин.

Поширеним у межах ділянки є процес графітизації. Численними спостереженнями відзначено, що графіт має гідротермальне походження і наскрізний характер (О. М. Сватков та ін., 2010). Цей мінерал накладений на зеленокам'яні породи, гранітоїди, що їх ін'єкують, а також на мігматити облямування. Кількість графіту змінюється в широкому діапазоні від перших до 10–15, а на окремих ділянках сягає 30 %.

Заслуговує на увагу аномалія вольфраму, що визначена за результатами польових робіт з ГПК-50 (О. М. Сватков та ін., 2010) на Миколаївській ділянці Берестівської структури (рис. 2). Аномалія приурочена до західної зони контакту зеленокам'яних порід структури з утвореннями салтичанського та ремівського комплексів і супроводжується підвищеним умістом V, Cu, Co, іноді Mn, Ag, Au.

Основні асоціації рудних мінералів

Рудні асоціації Берестівської ЗС і найближчого її облямування накладені на зеленокам'яні породи ольжинської світи (переважно метабазальти з прошарками метаультрамафітів), плутонічні утворення сорокинського комплексу (метагаброїди, метагабродіабази, метадуніти, метапіроксеніти та ін.), підстеляючи та оточуючи породні комплекси. Породи, що вміщують рудну мінералізацію, інтенсивно змінені: скарновані, проплітізовані, окварцовані. Відзначається широкий розвиток графітумісних метасоматитів. Максимум концентрації рудних мінералів приурочено до ділянок з інтенсивно проявленими тектонічними і гідротермальнометасоматичними процесами.

Широкий спектр різних за віком і генезисом породних утворень, що суміщаються в контурах Берестівської ЗС, пов'язаний з приуроченістю цієї структу-

ри до Миколаївського глибинного довгоживучого розлому, а також ускладненням її поперечними й січними тектонічними порушеннями.

Рудні мінерали, що виявлені і вивчені в межах Миколаївської ділянки Берестівської ЗС, утворюють укралені і прожилково-вкраплені структури. Їх кількість (разом з графітом) становить від 0,5 до 70 об'ємних відсотків.

У результаті проведених мінераграфічних і прецизійних досліджень виділено мінеральні асоціації, які поділяються на допродуктивні, продуктивні та післяпродуктивні:

1. Допродуктивними асоціаціями є:

а) вольфраміт-магнетитова (з каситеритом);

б) графіт-кварцова;

в) пентландит – халькопірит-1 – піротин – пірит-1 – ільменітова (з кобальт-пентландитом);

г) льолінгіт – герсдорфіт – нікелінова (з глаукоодотом, годлевскітом, кобальтином).

2. Продуктивні асоціації:

а) вісмут – сфалерит – магнетит-2 – халькопірит-2 – піритова (з піритом другої генерації, самородним сріблом, вісмутином);

б) золото – галеніт – карбонат – піритова (з піритом третьої генерації, геситом, телуровісмутином).

3. Післяпродуктивні асоціації:

а) гематит-1 – марказитова (з рутилом і лейкоксеном);

б) борніт – малахіт – гематит-2 – гетитова.

Характеристика рудних мінералів

До першої допродуктивної асоціації входять магнетит-1, який у кількості близько 15 % спостерігається серед калішпатизованих біотит-кварц-олігоклазових метасоматитів з прожилково-вкрапленою рудною мінералізацією (сверд. 64, гл. 222,5 м). До складу асоціації належать також каситерит і вольфраміт (табл. 1). Останні трапляються в окремих пробах. За хімічним складом вольфраміт відповідає фербериту (FeWO_4) з дещо

підвищеним умістом заліза й малою домішкою марганцю. До складу каситериту як домішка входить залізо.

Графіт, який є представником другої дорудної асоціації, спостерігається майже у всіх породних різновидах та утворює окремі лусочки й розетки, часто деформовані лускуваті агрегати, скупчення лусок на контакті породних відмін, які зорієнтовані по сланцюватості. Часто спостерігаються сутуроподібні шви, складені дрібнолускуватим графітом (фото 1) з “гофрованою” поверхнею (фото 2). Від суми рудних мінералів уміст графіту змінюється від 0,1 до 70 %. Найбільша кількість мінералу (до 30 %) зафіксована у складі графіт-кварцових метасоматитів, які накладені майже на всі породи, що складають Берестівську ЗС.

Ільменіт, який належить до третьої дорудної асоціації, утворює зерна або вкраплення окремих призматично-витягнутих кристалів, часто міститься в зростанні з піротином (фото 3), заміщує магнетит першої генерації. У свою чергу, по ільменіту розвивається агрегат лейкоксену. У рудних агрегатах уміст ільменіту змінюється від 0,1 до 99 %. Хімічний склад ільменіту характеризується постійною наявністю оксиду марганцю в кількості від 1,07 до 10,18 % (табл. 2).

Піротин розвинений у вигляді дрібних укралень і реліктів у піриті, ізометричних (округлих) виділень у зростанні з ільменітом, іноді гніздоподібних або прожилкоподібних скупчень (див. фото 3). Уміст піротину в досліджених зразках змінюється від 0,1 до 25 % від суми рудних мінералів. Хімічний склад піротину надано в табл. 3.

Пентландит виявлений в керні у сверд. 64 сланці епідот-хлорит-актинолітовому (гл. 211,4 м) і плагіогнейсі біотит-графітовому (гл. 222,5 м). У першому випадку мінерал включений у халькопіриті і заміщується віоларитом. Уміст пентландиту становить тут 1,0 % від суми рудних мінералів. У другому випадку пентландит утворює полум'яноподібні фази в піротині, тому вміст його незначний і від суми рудних мінералів сягає 0,4 %.

Таблиця 1. Хімічний склад фербериту і каситериту

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Мінерал	Компоненти, ваг. %				Сума
				WO ₃	SnO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ +FeO	
1	64	151,4	ферберит	71,79	–	0,13	28,08	100,00
2	64	151,4	каситерит	–	93,50	–	6,50	100,00

Таблиця 2. Хімічний склад ільменіту

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %			Сума
			Fe ₂ O ₃ +FeO	TiO ₂	MnO	
1	64	184,6	47,72	50,65	1,62	99,99
2	64	184,6	48,06	50,58	1,36	100,00
3	64	211,4	37,85	51,97	10,18	100,00
4	64	211,4	37,99	52,13	9,88	100,00
5	64	222,5	43,31	50,66	6,03	100,00
6	64	247,8	47,96	50,96	1,07	99,99

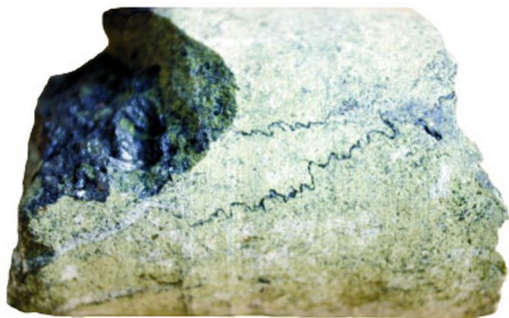


Фото 1. Сутуроподібні шви, складені тонколукуватим графітом в епідот-піроксен-кварцових скарноїдах. Сверд. 64, гл. 207,3 м. Діаметр керна 59 мм



Фото 2. Тріщина відколу, “гофрована” поверхня якої складена перетертим тонколукуватим графітом. Сверд. 64, гл. 205,4 м. Діаметр керна 59 мм

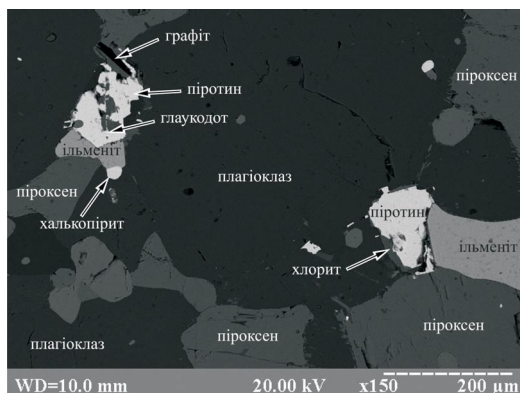


Фото 3. Зростання піротину та ільменіту. По тріщині в піротині розвивається глаукоdot. Сверд. 64, гл. 184,6 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

Таблиця 3. Хімічний склад піротину

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %			Сума
			S	Fe	Co	
1	64	151,4	35,20	64,80	–	100,00
2	64	184,6	35,65	64,35	–	100,00
3	64	222,5	34,75	65,14	0,11	100,00

Кобальтпентландит ($(Co, Ni, Fe)_9S_8$) діагностовано в керні сверд. 64 (гл. 211,4 м), де він утворює тісні зростання з халькопіритом, а також окремі дрібні лінзоподібні виділення (фото 4). Хімічний склад мінералу показано в табл. 4.

Халькопірит у кількості від 1 до 14 % від суми рудних мінералів спостерігається у вигляді дрібних укралень, окремих виділень неправильної форми, а також гніздоподібних скупчень. Нерідко мінерал утворює облямівки навкруги піротину й піриту першої і другої генерацій або тісні зростання з піротином, релікти в піриті-2.

Очевидно, що в рудах існує дві генерації халькопіриту. Вони розрізняються як за морфологічними ознаками, так і за співвідношеннями з іншими рудними мінералами. Ранній халькопірит асоціює з піротином, піритом-1, зрідка з кобальтпентландитом, часто спостерігається у вигляді реліктів, а пізній утворює дрібні вкраплення та окремі майже мономінеральні виділення неправильної форми.

За хімічним складом халькопірити двох генерацій не розрізняються і є майже тотожними (табл. 5). Варіації складу є незначними і не перевищують 1–2 %. До-

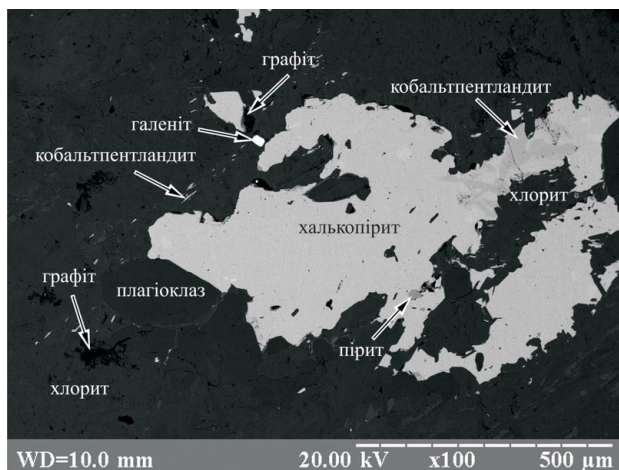


Фото 4. Кобальтпентландит, що утворює субграфічні проростання в халькопіриті та дрібні лінзоподібні виділення в нерудних мінералах. Сверд. 64, гл. 211,4 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

Таблиця 4. Хімічний склад кобальтпентландиту

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %				Сума
			Fe	Ni	Co	S	
1	64	211,4	5,18	27,98	28,42	38,27	99,85
2	64	211,4	6,48	29,34	26,93	37,84	100,59

Таблиця 5. Хімічний склад халькопіритів

№ з/п	№ сверд.	Пл., м	Компоненти, ваг. %				Сума
			Fe	Cu	Mn	S	
1	64	147,4	32,13	35,96	–	31,91	100,00
2	64	151,4	32,24	35,11	–	32,65	100,00
3	64	211,4	32,59	35,58	–	31,83	100,00
4	64	211,4	31,88	36,42	–	31,71	100,01
5	64	211,4	31,97	36,35	0,12	31,62	100,06
6	64	211,4	32,40	37,38	0,05	32,02	101,85
7	64	211,4	32,28	36,51	0,08	31,51	100,38
8	64	222,5	32,59	35,47	–	33,33	101,39
9	64	222,5	32,06	35,88	–	30,72	98,66

мішки майже відсутні. Винятком є аналізи № 5–7, в яких зафіксовано невелику кількість марганцю (від 0,05 до 0,12 %).

Пірит першої генерації становить від 0,1 до 90 % суми рудних мінералів третьої допродуктивної асоціації. Мінерал утворює окремі дрібні ідіоморфні кристали, витягнуті або неправильної форми виділення з “чистою” поверхнею та вкрапленнями піротину і халькопіриту.

Остання з допродуктивних асоціацій – льолінгіт-герсдорфіт-нікелінова – поширена локально. Сульфіди, сульфоарсеніди та арсеніди заліза, нікелю й кобальту виявлені у сверд. 64 серед біотитизованих, окварцованих і скарнованих метабазальтів. За даними мікрозондового рентгено-спектрального аналізу в складі асоціації визначені досить рідкісні годлевскіт, кобальтин і глаукоdot (табл. 6, фото 5–8).

Таблиця 6. Хімічний склад мінералів льолінгіт-герсдорфіт-нікелінової асоціації

№ з/п	№ сверд.	Пл., м	Мінерал	Компоненти, ваг. %					Сума
				Fe	Ni	Co	As	S	
1	64	184,6	льолінгіт	21,50	2,34	3,49	72,66	-	99,99
2	64	184,6	глаукоdot	24,75	0,74	17,36	28,05	29,11	100,01
3	64	222,5	годлевскіт	2,85	66,09	–	–	32,27	101,21
4	64	247,8	кобальтин	5,34	8,98	21,63	45,42	18,63	100,00
5	64	247,8	нікелін	0,62	43,64	–	55,74	–	100,00
6	64	247,8	нікелін	0,58	43,72	–	55,70	–	100,00
7	64	247,8	нікелін	0,71	43,67	–	55,62	–	100,00
8	64	247,8	нікелін	0,71	43,49	–	55,80	–	100,00
9	64	247,8	нікелін	–	44,49	–	55,51	–	100,00
10	64	247,8	нікелін	–	44,31	–	55,69	–	100,00
11	64	247,8	герсдорфіт	1,19	31,42	2,75	46,62	18,02	100,00
12	64	247,8	герсдорфіт	1,33	32,88	1,23	45,16	19,39	99,99
13	64	247,8	герсдорфіт	1,42	33,42	1,20	45,11	18,86	100,01
14	64	247,8	герсдорфіт	1,48	32,05	1,96	45,75	18,76	100,00
15	64	247,8	герсдорфіт	1,35	33,31	1,24	45,76	18,35	100,00
16	64	247,8	герсдорфіт	2,02	33,83	1,20	45,00	17,96	100,00
17	64	247,8	герсдорфіт	1,35	30,46	3,94	46,91	17,34	100,00

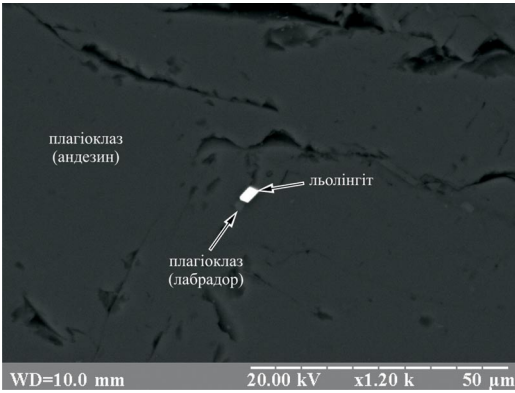


Фото 5. Кристал льолінгіту в скарнованих метабазальтах. Сверд. 64, гл. 184,6 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

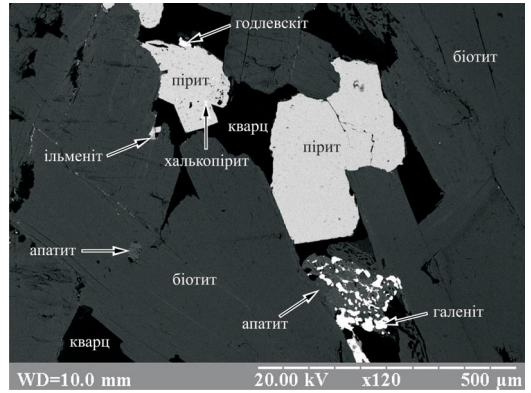


Фото 6. Зерно годлевскіту в зростанні з піритом. Сверд. 64, гл. 222,5 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

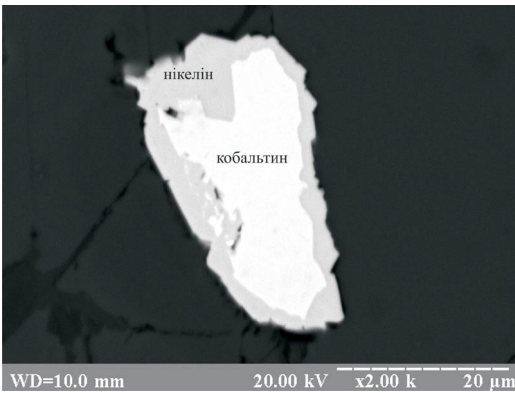


Фото 7. Асоціація нікеліну і кобальтину. Сверд. 64, гл. 247,8 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

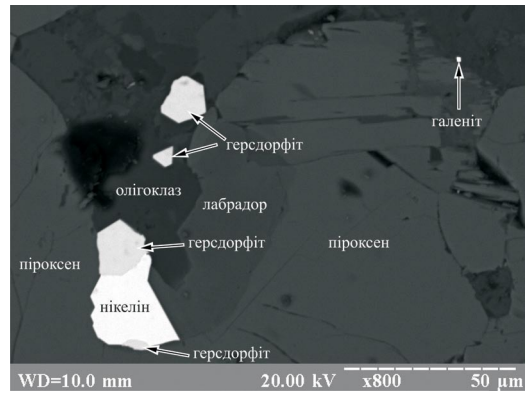


Фото 8. Виділення герсдорфіту і нікеліну в метабазальтах. Сверд. 64, гл. 247,8 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

Мікрозондові дослідження показали, що співвідношення основних хімічних елементів нікеліну (NiAs) і герсдорфіту (NiAsS) загалом відповідає теоретичним умістам [9]. При цьому особливістю складу нікеліну є наявність заліза в кількості до 0,71 %, а для герсдорфіту характерною є постійна присутність домішок кобальту (від 1,20 до 3,94 %) і заліза (від 1,19 до 2,02 %).

У складі льолінгіту (FeAs₂) зафіксовані домішки нікелю (2,34 %) і кобальту (3,49 %). За цими ознаками мінерал можна визначити як нікель-кобальтистий льолінгіт.

Хімічний склад годлевскіту (Ni₇S₆) порівняно з теоретичним характеризується дещо пониженим умістом сірки, підвищеним умістом нікелю і наявністю заліза.

Співвідношення миш'яку і сірки в кобальтині (CoAsS) загалом відповідає стехіометричному. У складі мінералу зафіксовані також залізо (5,34 %) і нікель (8,98 %).

Хімічний склад глаукодоту ((Co,Fe)AsS) вирізняється дефіцитом миш'яку та підвищеними вмістами сірки й нікелю. Це пояснюється можливим забрудненням аналізу

елементами, що входять до складу піротину, який уміщує дрібні виділення глаукодоту.

До складу продуктивних асоціацій, окрім самородних золота, срібла, вісмуту, входять пірит-2, пірит-3, халькопірит-2, карбонат, сфалерит, галеніт (фото 9), вісмутин, телуровісмутит.

Пірит-2 утворює великі ситоподібні кристали та прожилкоподібні виділення, видовжені по сланцюватості (фото 10, 11), гранбластові та дисперсні агрегати (зі структурами типу “пташине око”), облямовки навкруги піриту-1. Мінерал часто вміщує емульсійне вкраплення магнетиту-2, релікти піротину, халькопіриту, окремі кристали марказиту. Ці спостереження

вказують на його утворення в результаті дисульфідизації піротину. Іноді відзначаються тісні зростання піриту-2 з карбонатом. Пірит-2 присутній у досліджених зразках у кількості від 7,5 до 65 % від суми рудних мінералів.

Магнетит-2 міститься в невеликих кількостях (від 0,05 до 0,4 %) і трапляється, звичайно, у вигляді емульсійних укралень у піриті-2 і за морфологічними ознаками є продуктом, що виникає під час дисульфідизації піротину.

Як було зазначено вище, халькопірит-2 утворює дрібні вкраплення та окремі мономінеральні виділення неправильної форми.

Сфалерит має обмежений розвиток, в аншліфах спостерігається в кількості від

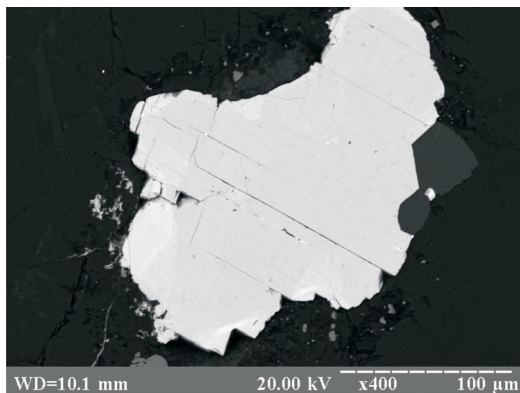


Фото 9. Виділення галеніту (дрібні білі точки) в кристали монациту (світло-сіре). Сverd. 64, гл. 225,5 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

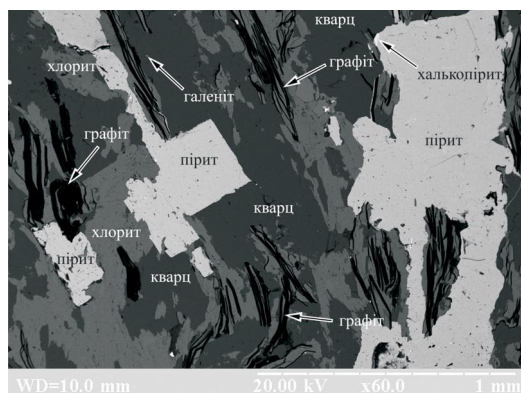


Фото 10. Гранбластовий пірит другої генерації, що розвивається по сланцюватості в окварцованих, графітізованих і хлоритизованих амфіболітах. Сverd. 64, гл. 151,4 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах



Фото 11. Лінзоподібні і прожилкові виділення піриту-2 в окварцованому метабазальті. Сverd. 64, гл. 151,2 м

0,1 до 0,65 %. Цей мінерал утворює емульсійні крапління, окремі крапління й короткі прожилки в халькопириті. Невелика кількість міді, що фіксується в пробах, які відібрані у сверд. 64 на гл. 147,4 і 211,4 м, зумовлена, вірогідно, наявністю у сфалериті емульсійних виділень халькопириту (табл. 7).

Пірит-3 розвивається по тріщинах, утворюючи гранобластові та ажурні агрегати. Часто приурочений до акцесорних мінералів, складає облямівки навкруги піриту-2. Уміст піриту-3 в досліджених зразках змінюється від 0,5 до 45 %.

Хімічний склад піритів Берестівської ЗС відзначається стабільністю (табл. 8). Лише в пробі, відібраній у сверд. 64 з гл. 222,5 м, зафіксовано домішку кобальту в кількості 0,4 %.

Золото спостерігалось лише в одному випадку (сверд. № 64, гл. 147,4 м). Мінерал

утворює ізометричне виділення розміром до 5 мк у халькопириті (фото 12). Хімічний склад самородного золота наведений у табл. 9. Він характеризується наявністю срібла (25,11 %), заліза (2,0 %) і міді (2,3 %). Присутність останніх пояснюється впливом халькопиритової матриці.

Самородне срібло діагностовано у двох пробах сверд. 64, де воно спостерігається у вигляді дрібних зерен у графіті і халькопириті. У сріблі з гл. 147,4 м присутнє залізо в кількості 1,71 %, а в пробі з гл. 151,4 м мінерал уміщує невеликі домішки міді й сірки (фото 13, табл. 9).

Одним з найпоширеніших мінералів асоціації є галеніт. Він спостерігається майже у всіх аншліфах, утворюючи крапління дрібних ізометричних зерен. Часто галеніт пов'язаний з монацитом. Вірогідно, що в межах Берестівської ЗС

Таблиця 7. Хімічний склад сфалериту

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %				Сума
			Zn	Fe	Cu	S	
1	64	147,4	63,51	5,93	1,38	29,04	99,86
2	64	147,4	65,19	4,99	–	29,82	100,00
3	64	147,4	61,80	6,84	–	29,17	97,81
4	64	211,4	63,73	7,60	1,89	29,32	102,54
5	64	211,4	61,99	11,16	–	26,84	99,99
6	64	222,5	59,35	11,61	–	29,04	100,00

Таблиця 8. Хімічний склад піритів Берестівської ЗС

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %			Сума
			Fe	Co	S	
1	64	151,4	52,00	–	48,00	100,00
2	64	151,4	50,73	–	49,27	100,00
3	64	151,4	51,23	–	48,77	100,00
4	64	211,4	51,09	–	48,91	100,00
5	64	222,5	50,99	–	49,01	100,00
6	64	222,5	50,36	0,40	49,24	100,00
7	64	222,5	50,33	–	49,27	99,60
8	64	222,5	50,23	–	49,77	100,00
9	64	222,5	51,46	–	48,54	100,00
10	64	222,5	51,08	–	48,92	100,00
11	64	222,5	51,68	–	48,32	100,00

цей мінерал утворювався як під час гідротермального процесу (в складі досить локально проявленої поліметалевої асоціації), так і під час радіоактивного розпаду, про що свідчить його приуроченість до монациту (див. фото 9). Хімічний склад галеніту наведено в табл. 10.

Мінерали вісмуту виявлено у сверд. 64 на гл. 222,5 м (фото 14, 15, табл. 11, 12). Підвищені вмісти вісмуту в аналізах свід-

чать про наявність тонких зростань самородного вісмуту і вісмутину, які не визначаються оптичними методами.

Післяпродуктивні асоціації Берестівської ЗС представлені низькотемпературними мінералами, що утворились на пізніх стадіях гідротермального процесу (пірит-3, марказит, гематит-1, рутил, лейкоксен) або в умовах гіпергенезу (гетит, гематит-2, борніт, малахіт).

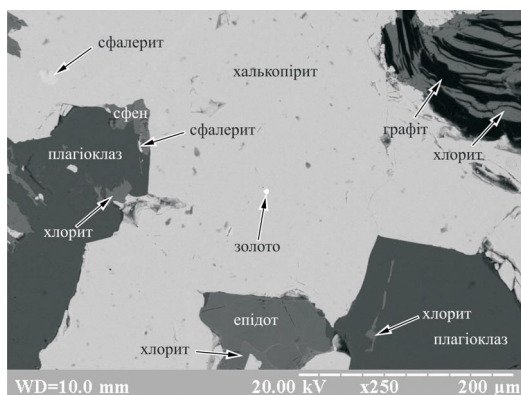


Фото 12. Дрібне виділення самородного золота в халькопіриті. Сверд. 64, гл. 147,4 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

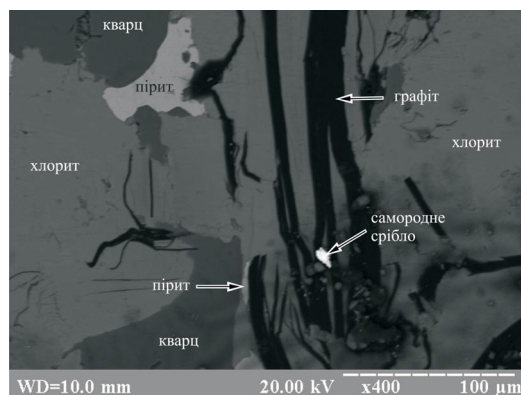


Фото 13. Самородне срібло в хлорит-графіт-кварцовому метасоматиті. Сверд. 64, гл. 151,4 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

Таблиця 9. Хімічний склад самородних золота і срібла

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Мінерал	Компоненти, ваг. %					Сума
				Au	Ag	Fe	Cu	S	
1	64	147,4	золото	70,59	25,11	2,00	2,30	–	100,00
2	64	147,4	срібло	–	98,29	1,71	–	–	100,00
3	64	151,4	срібло	–	97,98	–	1,43	0,59	100,00
4	64	151,4	срібло	–	98,43	–	1,27	0,30	100,00

Таблиця 10. Хімічний склад галеніту

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %		Сума
			Pb	S	
1	64	147,4	85,08	14,92	100,00
2	64	151,4	85,72	14,28	100,00
3	64	151,4	84,26	15,74	100,00
4	64	211,4	86,70	13,30	100,00
5	64	222,5	84,12	15,88	100,00
6	64	222,5	85,25	14,75	100,00

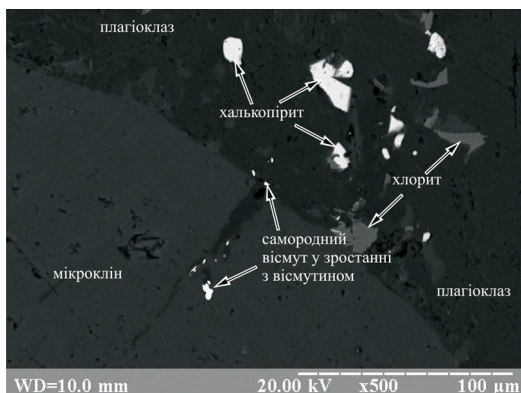


Фото 14. Розвиток халькопіриту другої генерації, хлориту і мінералів вісмуту на границі зерен польових шпатів. Сверд. 64, гл. 147,4 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

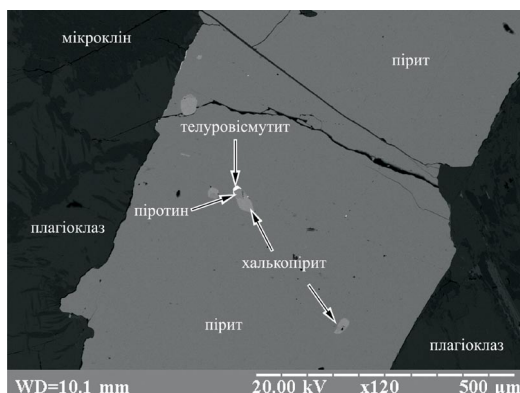


Фото 15. Телуровісмутит, що спостерігається у вигляді облямівки навкруги піротину. Сверд. 64, гл. 222,5 м. Аншліф. Зображення у відбитих електронах

Таблиця 11. Хімічний склад телуровісмутиту

№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %		Сума
		Ві	Те	
64	222,5	54,97	45,03	100,00

Таблиця 12. Хімічний склад тонких зростань вісмутину і самородного вісмуту

№ з/п	№ сверд.	Гл., м	Компоненти, ваг. %		Сума
			Ві	S	
1	64	222,5	88,47	11,53	100,00
2	64	222,5	86,34	13,66	100,00

Висновки

Уперше завдяки проведенню геолого-прогнозного картування масштабу 1:50 000 виявлено і комплексно вивчено Берестівську ЗС, яка за багатьма ознаками відповідає саме зеленокам'яним структурам лінійного типу, які є характерними для Західноприазовського геоблока і зокрема суміжній Сорокинській ЗС.

Комплексом робіт, що включали мінералогічні і мікрозондові рентгеноспектральні дослідження, вперше в цій структурі визначено послідовність рудних процесів і виділено мінеральні асоціації, які поєднуються в допродуктивні, продуктивні (золотоносні) та післяпродуктивні.

Проведеними роботами виявлені раніше невідомі для цієї ділянки надр рудні мінерали: кобальт-пентландит, льолінгіт, герсдорфіт, нікелін, глаукокодот, годлевскіт, кобальтин, срібло, гесит, телуровісмутит.

Аналіз послідовності процесів рудоутворення і мінеральних асоціацій, які розвинені в межах Берестівської ЗС і суміжної Сорокинської структури, свідчить про їх подібність і близькість. У першу чергу це стосується золоторудного процесу, що дає можливість позитивно оцінювати перспективи золотоносності Берестівської ЗС та її найближчого оточення.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бобров О. Б., Лисенко О. А., Меркушин І. Є., Сватков О. М.* Берестівська структура – нова зеленокам'яна структура Приазовського мегаблока УЩ//Тези IV наук.-виробн. наради геологів-зйомщиків України. Дніпропетровськ, 2007. С. 50–51.

2. *Бобров О. Б., Лисенко О. А., Меркушин І. Є., Сватков О. М., Тупікова Н. Б.* Берестівська структура – новий зеленокам'яний об'єкт у Західному Приазов'ї//Зб. наук. праць УкрДГРІ. 2012. № 2. С. 10–28.

3. *Бородина Б. В., Князькова І. Л., Єсипчук К. Ю.* та ін. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, Центральньоукраїнська серія, аркуш L-37-VII (Бердянськ). Пояснювальна записка. К.: Державна геологічна служба, КП “Південукргеологія”, Приазовська КГП, 2004. 138 с.

4. *Войновський А. С., Бочай Л. В., Нечаев С. В.* та ін. Комплексна металогенічна карта України. Масштаб 1:500 000. Пояснювальна записка. К.: УкрДГРІ, Державна геологічна служба Мінекоресурсів України, 2003. 336 с.

5. *Ісаков Л. В., Василенко А. П., Бобров О. Б.* Геолого-промислові типи родовищ корисних копалин України, пов'язаних з пегматитами//Зб. наук. праць УкрДГРІ. 2007. № 1. С. 24–34.

6. *Ісаков Л. В.* Поля гранітних пегматитів Західного Приазов'я. К.: УкрДГРІ, 2007. 134 с.

7. *Ісаков Л. В.* Систематизація пегматитів Українського щита за геолого-структурними особливостями формування пегматитоносних гранітних комплексів//Зб. наук. праць УкрДГРІ. 2013. № 3. С. 9–25.

8. *Лазаренко Е. К., Лавриненко Л. Ф., Бучинская Н. И.* и др. Минералогия Приазовья. К.: Наук. думка, 1981. 432 с.

9. *Юшко С. А., Юшко-Захарова О. Е., Лебедева С. И., Максимюк И. Е.* Диагностические свойства рудных минералов. М.: Недра, 1975. 285 с.

3. *Borodynya B. V., Knyazkova I. L., Yesyuchuk K. Yu., Glevaskyy Ye. B., Chubar Zh. V., Ivanenko T. Ya.* Ukrainian State Geological Map 1:200 000 scale, the Central Ukrainian series, sheet L-37-VII (Berdyansk). Explanatory note. K.: Derzhavna geologichna sluzhba, KP “Pivdenukrgeologiya”, Pryazovska KGP, 2004. 138 p. (In Ukrainian).

4. *Voynovskyy A. S., Bochai L. V., Nechaev S. V., Galeckyy L. S., Kolosovska V. A., Lebid M. I., Gurskyy D. S., Kulish Ye. O., Lobanova L. A., Skopychenko I. M.* Comprehensive metallogenic map of Ukraine. The scale of 1:500 000. Explanatory note. K.: UkrDGRI, Derzhavna geologichna sluzhba Minecoresursiv Ukrayiny, 2003. 336 p. (In Ukrainian).

5. *Isakov L. V., Vasylenko A. P., Bobrov O. B.* Geological and industrial types of mineral deposits in Ukraine, related to pegmatite//Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI. 2007. № 1. P. 24–34. (In Ukrainian).

6. *Isakov L. V.* The fields of granitic pegmatites in Western Azov. K.: UkrDGRI, 2007. 134 p. (In Ukrainian).

7. *Isakov L. V.* Systematization of pegmatites in Ukrainian shield on geological and structural features of the formation of pegmatite-bearing granitic complexes//Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI. 2013. № 3. P. 9–25. (In Ukrainian).

8. *Lazarenko Ye. K., Lavrinenko L. F., Buchinskaya N. I., Galiy S. A., Vozyak D. K., Galaburda Yu. A., Zacyha B. V., Ivanova A. V., Kvasnica V. N., Kulchickaya A. A., Kuc V. P., Melnikov V. S., Pavlishin V. I., Turkevich G. I.* Mineralogy of Azov. K.: Naukova Dumka, 1981. 432 p. (In Russian).

9. *Yushko S. A., Yushko-Zakharova O. E., Lebedeva S. I., Maksimyuk I. E.* Diagnostic properties of ore minerals. M.: Nedra, 1975. 285 p. (In Russian).

Рукопис отримано 20.03.2014.

REFERENCES

1. *Bobrov O. B., Lysenko O. A., Merkushyn I. Ye., Svatkov O. M.* Berestovskaya structure – the structure of the new greenstone Azov megablock carriers of Ukrainian shield//Tezy IV nauk.-vyrobn. narady geologiv-zyomshchikiv Ukrayiny. Dnipropetrovsk, 2007. P. 50–51. (In Ukrainian).

2. *Bobrov O. B., Lysenko O. A., Merkushyn I. Ye., Svatkov O. M., Tupikova N. B.* Berestovskaya structure – new greenstone object in the Western Azov//Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI. 2012. № 2. P. 10–28. (In Ukrainian).

А. А. Лысенко, канд. геол. наук, заведующий отделом (Украинский государственный геологоразведочный институт (УкрГГРИ)),

И. Е. Меркушин, канд. геол. наук, старший геолог (ПК “Геолог”),

А. Б. Бобров, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник (Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н. П. Семененко (ИГМР) НАН Украины)

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ БЕРЕСТОВСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ СТРУКТУРЫ (Украинский щит, Западное Приазовье)

В этой статье продолжается публикация материалов, характеризующих Берестовскую зеленокаменную структуру (ЗС), которая была установлена в результате геолого-прогнозного картирования масштаба 1:50 000 (ГПК-50) в 2003–2008 гг. в районе известной Сорокинской ЗС. В первой публикации [2] была рассмотрена геолого-структурная позиция Берестовской ЗС, охарактеризован разрез зеленокаменных образований, освещены основные особенности наиболее изученной ее части – Николаевского участка, проанализирована золотоносность структуры и породных комплексов, которые находятся в ее обрамлении. Данная публикация посвящена характеристике рудной минерализации, которая была выявлена в породном комплексе Берестовской ЗС. Исследованиями установлены дорудные, продуктивные золотоносные и послерудные минеральные ассоциации. Выяснено, что рудные процессы, которые происходили в смежных Сорокинской и Берестовской ЗС, имеют много общих черт.

Ключевые слова: Берестовская структура, рудная минерализация, минеральная ассоциация, минераграфические исследования, микрозондовый анализ.

O. A. Lysenko, *PhD. Geol. Sciences, Head of Department (Ukrainian state geological research institute (UkrSGRI))*

I. Ye. Merkushin, *PhD. Geol. Sciences, geologist of MC “Geologist”*,

O. B. Bobrov, *Dr. Geol.-mineral. Sciences, professor, collaborator of IGMO*

ORE MINERALIZATION OF BERESTOVSKII GREENSTONE STRUCTURE (Ukrainian Shield, Western Azov)

This article continues publication of materials that characterize Berestovskii greenstone structure (GS), which was established as a result of geological predictive mapping scale 1:50 000 (geological predictive mapping - 50) in 2003–2008 in an area, known Sorokinskaya GS. The first publication [2] considered the geological and structural position of Berestovskii GS, characterized profile of greenstone formations, highlighted the main features of the most studied part – Nicholayevskiy site, analyzed the structure and gold-bearing rock complexes that are in its frame. This publication is devoted to the mineralization, which was detected in the rock varieties Berestovskii GS. Research established beforemineral, productive and postmineral auriferous mineral associations. Found that the ore processes that took place in the adjacent Sorokinskaya and Berestovskaya GS, have many similarities.

Keywords: Berestovskaya structure, mineralization, mineral association, mineralgraphic research, microprobe analyzes.