

УДК 551.46:(550.4:549.8)(99)

**О. П. Ольштинська<sup>1,\*</sup>, С. Б. Шехунова<sup>1</sup>, С. М. Стадніченко<sup>1</sup>,  
О. С. Огієнко<sup>2</sup>, В. В. Пермяков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України,  
вул. О. Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна

<sup>2</sup> ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка,  
вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

\* Автор для кореспонденції: ol-lesia@ukr.net

## **Літологічна та мікропалеонтологічна характеристика донних відкладів Stella Creek (західний шельф Антарктичного півострова)**

Реферат. **Мета роботи** – комплексні дослідження речовинного, гранулометричного, мінерального, хімічного та мікропалеонтологічного складу донних відкладів, а також аналіз умов седиментації в акваторіях, прилеглих до Української антарктичної станції «Академік Вернадський» (УАС «Академік Вернадський»). **Матеріал** для дослідження – зразки донних відкладів, відібрані в Stella Creek (протока Стелла) у 2018 р. поблизу УАС «Академік Вернадський». **Методи**. Дослідження речовинного, гранулометричного та мінерального складу порід і рентгеноструктурний аналіз породоутворюючих мінералів проводились з використанням електронно-мікроскопічних методів; для вилучення палеонтологічних решток застосована ультразвукова дезінтеграція порід; визначення таксономічного складу мікрководоростей та їх фотографування проводились у світловому і електронному мікроскопах. **Результати**. У мінеральному складі донних осадків встановлено кварц, плагіоклаз, хлорит, іліт, опал (біогенний), амфіболи, сидерит. Серед теригенних мінералів важкої фракції визначено ільменіт (з пірофанітовим міналом), циркон, монацит. Аутигенні мінерали представлені бактеріоморфними фрамбоїдальними скупченнями мікрокристалів сульфїду заліза, сульфату кальцію та бариту. Серед органічних решток виявлені численні стулки діатомових водоростей. За діатомовими виділено три інтервали, які співпадають з шарами осадків, визначеними за гранулометричним складом. **Висновки**. Донні відклади в протоці сформувалися у пізньочетвертинний час в морських холодноводних умовах за низької гідродинамічної активності та слабовираженим льодовиковим розвантаженням з локальними умовами, сприятливими для ранньодіагенетичної біогенної сульфатредукції.

**Ключові слова:** Аргентинські острови, голоцен, діатомові, донні відклади, седиментація, речовинний склад, шельф.

Цитування: Ольштинська О. П., Шехунова С. Б., Стадніченко С. М., Огієнко О. С., Пермяков В. В. Літологічна та мікропалеонтологічна характеристика донних відкладів Stella Creek (західний шельф Антарктичного півострова). *Український антарктичний журнал*, 2019. № 2 (19), 13–25.

## ВСТУП

Район досліджень — Аргентинські острови та їх західний шельф, розташовані в перигляціалній зоні на границі південного полярного кола і характеризуються суворими і своєрідними кліматичними умовами. Швидкі зміни клімату впродовж голоценового часу в регіоні не тільки відбивалися на формуванні сучасного стану геологічної ситуації на континенті, але і безпосередньо впливали на коливання масштабів надходження первинної продукції та на умови накопичення донних відкладів в басейнах акумуляції осадового матеріалу (Leventer, Dunbar, 1996).

Через поступову деградацію шельфового льодовика, що вкривав острови на початку верхнього плейстоцену, частина акваторії поступово вивільняється і піддається льодовому седиментогенезу. Причини, наслідки і темпи кліматичних змін в Антарктиці надзвичайно різноманітні (Xiao, Esper, et al., 2016), а їх ідентифікація та інтерпретація важливі для розуміння сучасних кліматичних процесів та прогнозування можливих напрямів розвитку подальших подій.

У водах Південного океану діатомові водорості є ключовою групою кременескелетного морського фітопланктону, домінують за біомасою та таксономічним різноманіттям і відповідають приблизно за 40% біопродуктивності океану (Petrou, Baker et al., 2019). Їх щільні опалові панцири здатні тонути після відмирання клітини, що робить їх джерелом надходження кремнезему на дно в осадки та важливими векторами для експорту вуглецю в глибини океану (McNair, Brzezinski et al., 2018, Vaines, Twining et al., 2010). Товщі морських осадків із рештками діатомових являють собою безперервний геологічний літопис, який дає можливість оцінювати характер зміни палеосередовища. Морські діатомеї Антарктики успішно використовуються для реконструкції палеоокеанографічних умов, відновлення палеотемператур поверхні моря і розподілу морського льоду і викликають значний інтерес дослідників (Armand, Crosta et al., 2008, Ольштинская, Огиенко, 2017). Лабораторні та польові дослі-

дження (Boyd, 2019, Petrou, Baker et al., 2019) впливу основних факторів ( $\text{CO}_2$ , рН, світла, поживних речовин, температури та вмісту заліза) на діатомові водорості Південного океану вказують, що температура і вміст заліза є головними контролюючими факторами зростання їх первинної біопродукції. Прогнозується, що продуктивність діатомових до 2100 р. може збільшуватись у напрямку на північ через зростання температури та зміну запасу поживних речовин. При цьому може змінюватися таксономічний склад діатомових асоціацій. Послідовності змін клімату в геологічному минулому зафіксовані в товщах морських відкладів, тому сучасні реконструкції палеокліматичних трендів базуються на матеріалі, отриманому при морських геологічних дослідженнях. Умови накопичення донних відкладів в районі Аргентинських островів та прилеглої акваторії Південного океану, їх будова, речовинний склад, як і таксономічний склад органічних решток вивчені не достатньо повно і потребують спеціальних досліджень сучасними прецизійними методами (Buffen, Leventer et al., 2007, Ольштинская, Огиенко, 2017).

Морські геологічні роботи сезону 23-ї Української антарктичної експедиції (УАЕ) у 2018 р. проводилися у прибережних акваторіях Аргентинських островів, прилеглих до УАС «Академік Вернадський» (Olshtynska, Shekhunova et al., 2019).

З метою вивчення речовинного складу донних осадків, аналізу обстановок осадконакопичення та палеокліматичних реконструкцій пізнього квартеру виконано літолого-мінералогічні та мікропалеонтологічні дослідження донних відкладів міжострівних ділянок ряду акваторій, прилеглих до антарктичної станції «Академік Вернадський».

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Матеріалом для дослідження стали 8 зразків донних осадків, відібраних на станції А418 (S 65°14.933 N 64°15.163) у Stella Creek (протока Стелла) під час морських геологічних робіт сезону 23-ї УАЕ у 2018 р. Протока глибиною 11—13 м є кінцевою

водоймою стоку островів Галіндез (Galindez Island) і Вінтер (Winter Island), що складені переважно виверженими та метаморфічними породами і входять до складу архіпелагу Аргентинські острови (Гожик та ін., 2002). Зразки відбирались прямою ударною трубкою з інтервалом 2—4 см, довжина колонки 27 см.

Детальне дослідження морфологічних особливостей складових донних відкладів та їх хімічного складу виконано для 4 зразків колонки ст. А418 з інтервалів відбору 4—5 см, 8—9 см, 15—16 см, 22—23 см. Кременескелетні мікроводорості досліджувалися у всіх 8-и зразках поверхневих донних відкладів колонки ст. А 418 *Stella Creek* (Olshtynska, Shekhunova et al., 2019).

Комплексні літолого-мінералогічні дослідження проводились на базі обладнання Центру колективного користування науковим обладнанням Інституту геологічних наук Національної академії наук України (ІГН НАН України) методами скануючої електронної мікроскопії (SEM JSM-6490LV) з інтегрованою системою мікрозондового аналізу INCA Energy+ (енергодисперсійний спектрометр EDS). При дослідженні наноструктурних особливостей та елементного складу зразків на SEM (скануючий електронний мікроскоп) використано режими SEI — зображення у вторинних електронах (контраст за морфологією) та BEC — зображення у зворотньо розсіяних електронах (контраст за хімічним складом) зі збільшенням від  $\times 30$  до  $\times 10\,000$ . Визначення хімічного складу зразків з використанням EDS виконувалося з прив'язкою до просторової структури об'єкта, зокрема: у режимі точкового мікроаналізу заданої зони діаметром близько 1 мкм; у режимі рентгенівського картування, який пов'язує хімічний аналіз у точці з координатами на поверхні зразка, а також у режимі картування вздовж визначеної лінії. Рентгенівський мікроаналіз дозволяє визначити хімічний склад зразків з точністю до 0,1%. Метод лазерної седиментографії застосовувався для визначення гранулометричного складу (лазерний аналізатор розміру частинок Mastersizer 2000 з модулем рідинної дисперсії Hydro 2000S). Згідно з методикою, ви-

мірювання виконується в суспензії, виготовленій на основі бідистильованої води, для чого зразок диспергується ультразвуком 30 хв (37 кГц ультразвукова камера Elmasonic S) з додаванням диспергуючої речовини (натрій гексаметафосфат) (Стадніченко, 2009). Даний метод широко застосовується при вивченні донних відкладів, зокрема антарктичного шельфу (Heou et al., 2008, Passchier et al., 2017). Рентгеноструктурний аналіз виконано в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка Національної академії наук України (ІГМР НАН України) з використанням дифрактометра ДРОН-2 (на лінії випромінювання міді  $\text{Cu}_{K\alpha} = 1,54178 \text{ \AA}$ ). Зйомка зразків проводилась в інтервалі кутів  $4 - 65^\circ 2\theta$ , з кроком сканування 0,05 град/с.

Для вилучення кременескелетних мікроводоростей застосована ультразвукова дезінтеграція порід за допомогою ультразвукового дезінтегратора моделі ПСБ-ГАЛС після їх прогрівання у розчині пірофосфату натрію протягом 10 хвилин; діагностика мікроводоростей, визначення їх таксономічного складу та фотографування проводились у світловому мікроскопі Olympus CX4 фотокамерою Canon G7 при збільшенні  $\times 600 - 800$  і в електронному JEOL-6490 LV мікроскопі. Прозорі постійні препарати (слайди) виготовлені на основі синтетичної смоли NAPHRAX з високим коефіцієнтом заломлення.

## РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

### Літологічна і мінералогічна характеристика донних відкладів *Stella Creek*

*За гранулометричним складом* всі вивчені зразки характеризуються відсутністю крупної та середньої псамітової фракції і є пелітовим алевритом, (Систематика..., 1998), в якому часточки розміром від 5 до 50 мкм складають від 50 до 64%, часточки розміром менше 5 мкм — від 24 до 33%, вміст тонко- та дрібнопсамітової фракції становить від 9,0 % (інт. 1—2 см) до 19,11 % (інт. 2—22 см). В цілому, для всіх досліджених зразків характерним є бімодальний розподіл розміру частинок з максимумами 0,1—0,2 мкм та 10—20 мкм (табл. 1). Зраз-

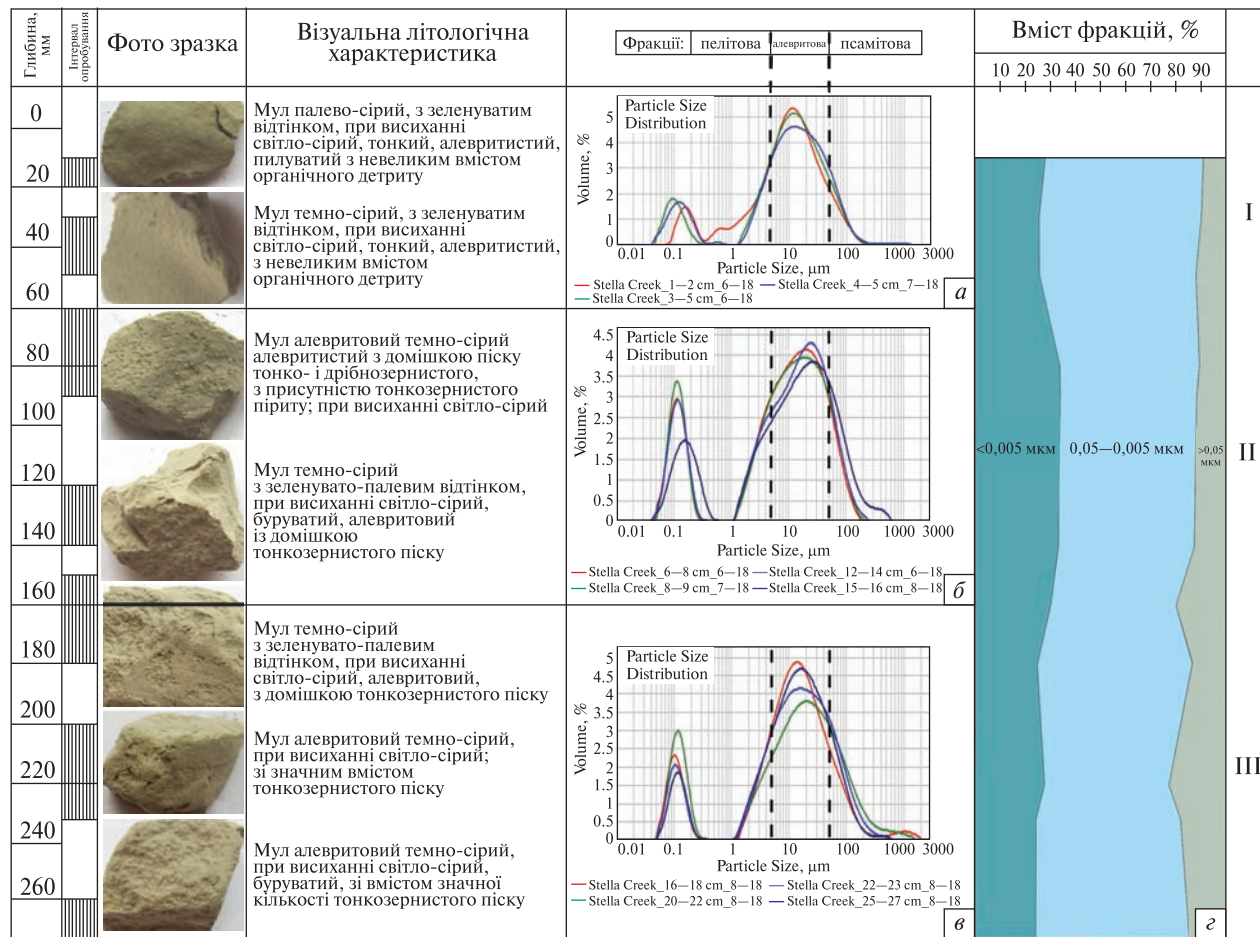


Рис. 1. Загальний вигляд та характеристика гранулометричного складу донних відкладів ст. А418: а, б, в — криві розподілу частинок за розміром; г — співвідношення алевриту, пеліту та псаміту за розрізом

Fig. 1. General view and characterization of particle size distribution of bottom sediments st. А418: а, б, в — particle size distribution curves; г — the ratio of clay, silt, silt & sandy parts downsection

ки в інтервалах від поверхні 6—16 см відрізняються відсутністю крупної та середньої псамітової фракцій та більшим вмістом пелітової фракції.

За гранулометричним складом в розрізі колонки виділено три шари (рис. 1):

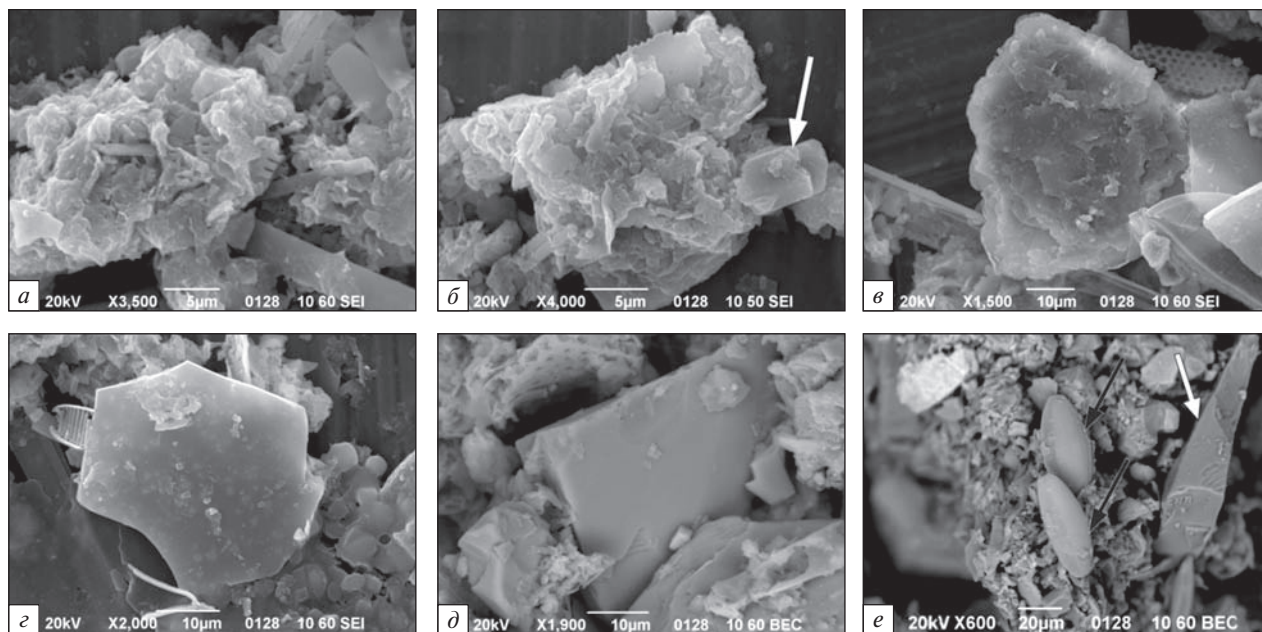
- **верхній шар** в інт. гл. 0—5 см (вміст пелітової фракції 25—28%; алевритової — 62—64%; дрібнопсамітової — 9—11,5%; крупнопсамітової до 0,06 %);

- **середній шар** в інт. гл. 6—16 см (вміст пелітової фракції 30—33%; алевритової — 50—56%; дрібнопсамітової — 10—18%; крупнопсамітова фракція відсутня);

- **нижній шар** в інт. гл. 16—27 см (вміст пелітової фракції 23,9—28%; алевритової — 50—61%; дрібнопсамітової — 12—19%; крупнопсамітової до 0,7%).

Вміст у гранулометричному складі донних утворень до 30% пелітової фракції характерний для спокійних низькоенергетичних гідродинамічних умов седиментації.

За результатами *електронномікроскопічних досліджень* та рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу зразків донних відкладів ст. А418 встановлено наноседиментологічні особливості донних відкладів та морфологічні характеристики



**Рис. 2.** Електронномікроскопічні знімки. *Пелітова фракція* зразків ст. А418, інт. 6–8 см: *a* — агрегат решток діатомових водоростей пелітової розмірності та глинистих частинок, переважає біогенна компонента; *b* — агрегат частинок глинистого (ілітового) складу з рештками діатомових водоростей, переважає мінеральна компонента (стрілкою відмічено фрагмент зерна амфіболу). *Алевритова фракція* зразків ст. А418: *в* — зерно шаруватого алюмосилікату (залізистий хлорит), інт. 0–2 см; *г* — уламок луски слюди, інт. 6–8 см; *д* — плагіоклаз (альбіт) алевритової розмірності, інт. 4–5 см. *Псамітова фракція*: *е* — гострокутний уламок кварцу, який є типовим для льодового літогенезу (біла стрілка) та рештки діатомових водоростей (чорні стрілки), інт. 4–5 см

**Fig. 2.** SEM images. *Pelitic fraction* of samples st. A418, int. 6–8 cm: *a* — aggregate of the diatoms remains of pelitic dimension and clay particles, the biogenic component prevails; *b* — an aggregate of particles of clay (illite) composition with the diatoms remains, the mineral component prevails (the arrow indicates a fragment of amphibole grain). *Silty fraction* of samples of st. A418: *в* — grain of layered aluminosilicate (ferrous chlorite), int. 0–2 cm; *г* — fragment of mica, int. 6–8 cm; *д* — plagioclase (albite) of aleuritic dimension, int. 4–5 cm. *Sandy fraction*: *е* — an acute-angled quartz fragment that is typical for ice lithogenesis (white arrow) and the remains of diatoms (black arrows), int. 4–5 cm

ки їх складових частинок, макрохімічний склад, а також із застосуванням рентгеноструктурного аналізу якісно оцінено їх мінеральний склад.

Визначено, що основні структури відкладів ст. А418 за розміром зерен — пеліто-алевритова, алевритова та алеврито-піщаниста; за генетичним типом складових — теригенно-уламкова та уламково-органогенна (фіто- та біогенна).

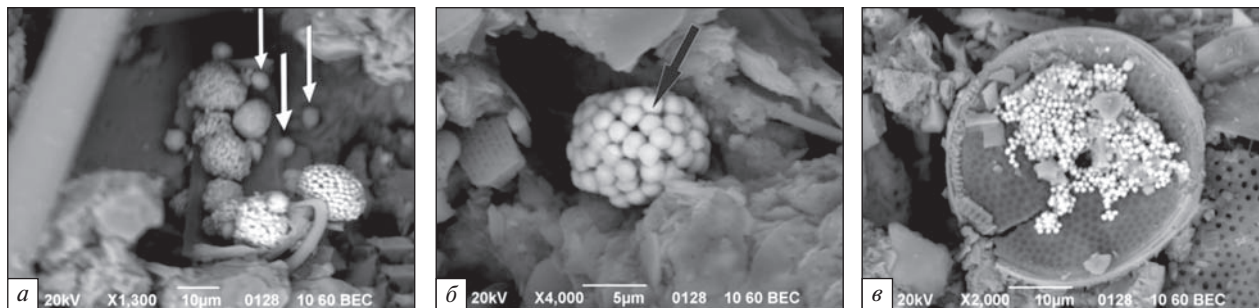
**Пелітова фракція** складена глинистими мінералами (хлорит, іліт, рідше смектити), кварцом /опалом та фрагментами органічних решток (рис. 2, *a, б*).

Частинки **алевритової розмірності** в зразках представлені агрегатами глинистих мінералів —

луски хлориту, гідрослюди, а кремнезем присутній у формі кварцу та біогенного опалу. В алевритовій фракції визначено, зокрема, зерно шаруватого алюмосилікату (залізистий хлорит) алевритової розмірності (рис. 2, *в*), уламок луски слюди за хімічним складом близької до біотиту (рис. 2, *г*), плагіоклаз (за хімічним складом близький до альбіту) алевритової розмірності (рис. 2, *д*).

**У псамітовій фракції** присутні зерна кварцу (рис. 2, *е*), алюмосилікати (агрегати частинок/кристаліти хлориту, гідрослюди, гідробіотиту, амфіболи, польові шпати).

Серед теригенних мінералів важкої фракції досліджених зразків встановлено ільменіт, циркон,



**Рис. 3.** Фрамбоїдальні агрегати мікрокристалів сульфідів заліза (інт. 8–9 см): *a* — скупчення фрамбоїдів піриту діаметром від 2 до 15 мкм, стрілками відзначено ембріональні фрамбоїди; *б* — фрамбоїдальний пірит, що утворився в результаті бактеріальної сульфат редукції; *в* — мікрокристали сульфідів заліза розміром до 1 мкм на діатомовій водорості *Actinocyclus*

**Fig. 3.** Framboidal aggregates of iron sulfide microcrystals (int. 8–9 cm): *a* — framboidal pyrite with a diameter of 2 to 15  $\mu\text{m}$ , arrows indicate embryonic framboids; *б* — framboidal pyrite, formed as a result of bacterial sulfate reduction; *в* — iron sulfide microcrystals up to 1  $\mu\text{m}$  in size on diatom *Actinocyclus*

монацит. Зерна ільменіту не обкатані; його склад відрізняє значна присутність пірофанітового міналу ( $\text{MnTiO}_3$ ). Хімічний склад ільменіту за результатами аналізу рентгенівського спектру, %:  $\text{TiO}_2$  — 48,68;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  — 45,45;  $\text{MnO}$  — 5,87.

Серед аутигенних утворень встановлено фрамбоїдальні агрегати мікрокристалів сульфідів заліза (рис. 3), сульфати кальцію та барію.

У зразку донних відкладів з інт. 8–9 см виявлено три генерації фрамбоїдального піриту, що утворився в результаті бактеріальної сульфат ре-

дукції (рис. 3, *a*). На рисунку показано скупчення фрамбоїдів діаметром від 2 до 15 мкм, стрілками відмічено ембріональні фрамбоїди.

Присутність в осадах значної кількості дрібнозернистого піриту вказує, що у придонній частині напевно переважають анокисні умови. Це запобігає аеробному розпаду органічної речовини та створює сприятливі умови для збереження органічних решток.

За результатами *рентгеноструктурного аналізу* встановлено, що переважаючими фазами в усіх

**Таблиця 1.** Результати визначення гранулометричного складу зразків зі станцій ст. А418; вміст фракцій у відсотках, %  
**Table 1.** Particle size distribution analysis results of st. A418 bottom sediments (fractions content in %)

№ п/п	Інтервал відбору, см	Фракції, мм						
		<0,005	0,005–0,05	0,05–0,1	0,1–0,25	0,25–0,5	0,5–1,0	>1,0
1	1–2	28,21	62,73	6,93	2,13	—	—	—
2	3–5	25,55	64,30	8,22	1,93	—	—	—
3	4–5	25,61	62,35	9,31	2,26	0,18	0,23	0,06
4	6–8	32,96	56,13	9,14	1,77	—	—	—
5	8–9	33,10	54,70	9,89	2,31	—	—	—
6	12–14	32,51	54,62	10,18	2,69	—	—	—
7	15–16	30,17	50,33	12,31	5,70	1,49	—	—
8	16–18	25,47	60,67	8,63	3,44	0,36	0,73	0,70
9	20–22	28,02	50,09	11,93	7,18	1,59	0,92	0,27
10	22–23	24,49	57,29	12,04	5,51	0,66	0,01	—
11	26–27	23,91	61,18	10,69	3,71	0,44	0,07	—

зразках є кварц і польовий шпат, співвідношення яких змінюється. В зразках інт. 1—2 см, інт. 12—14 см, інт. 8—9 см, інт. 16—18 см і інт. 26—27 см кількість польового шпату переважає. Він представлений кислим плагіоклазом (олігоклазом?). Глиниста фракція представлена хлоритом (залізозміщуючий клінохлор 1М Пв,  $d_{060} = 1,527$ ) і гідролуодюю (літоном 2М1,  $d_{060} = 1,50$ ). В незначній кількості в зразках визначені амфібол і сидерит, кількість яких змінюється. Найбільша кількість сидериту встановлена в інт. 1—2 см, а амфіболу — інт. 8—9 см, інт. 22—23 см і інт. 26—27 см.

**Загальний хімічний склад** зразків (не розділених на фракції) з інтервалів глибин відбору 4—5 см, 8—9 см, 15—16 см, 22—23 см наведено у таблиці 2.

У складі зразків переважає кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ), вміст якого змінюється від 56,48 до 63,50 ваг %. Частина кремнезему до 5—9 % є біогенним опалом. Частка глинозему ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) складає від 13,78 до 16,31 %; вміст інших макрокомпонентів менший:  $\text{Na}_2\text{O}$  — 2,74—4,88;  $\text{MgO}$  — 2,91—4,31;  $\text{CaO}$  — 2,52—3,76;  $\text{K}_2\text{O}$  — 1,84—3,08;  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  — 4,28—8,48,  $\text{TiO}_2$  — 0,00—0,94.

### Кременескелетні органічні рештки

У літні місяці (грудень, січень) в акваторіях архіпелагу відбувається інтенсивне цвітіння фітопланктону з домінуванням діатомових водоростей і меншою участю силікофлагелат. Завдяки масовій кількості, хорошему збереженню і накопиченню в осадах, опалові скелети цих мікродоростей привносять суттєвий сезонний вклад у загальний седиментаційний потік біогенної компоненти, представленої дисперсним аморфним кремнеземом та планктоногенною органікою.

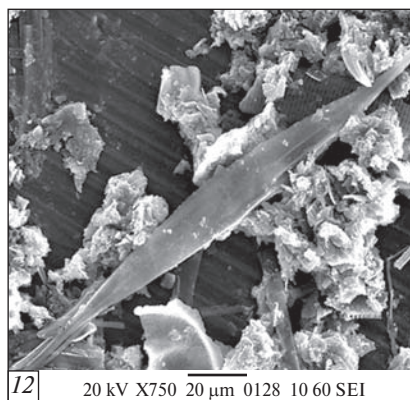
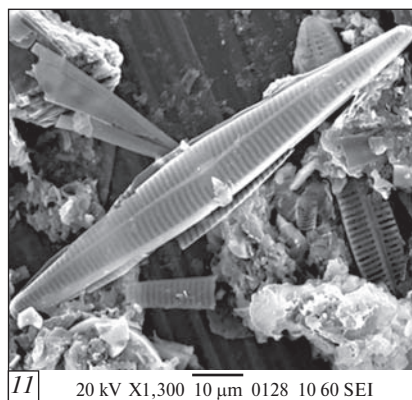
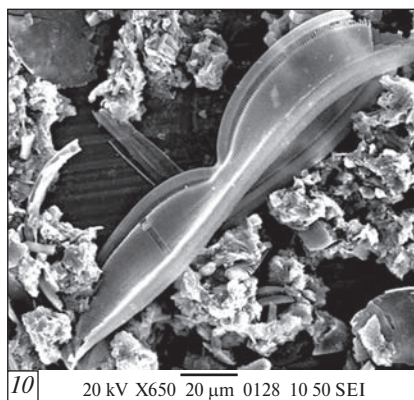
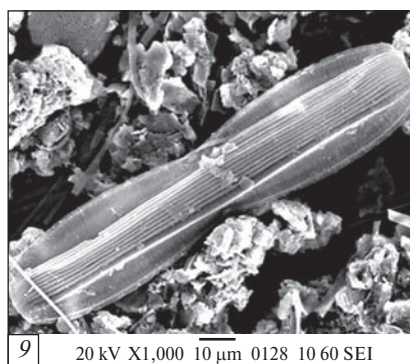
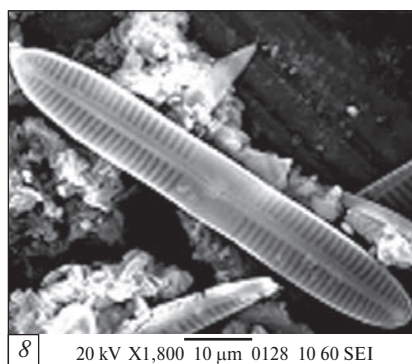
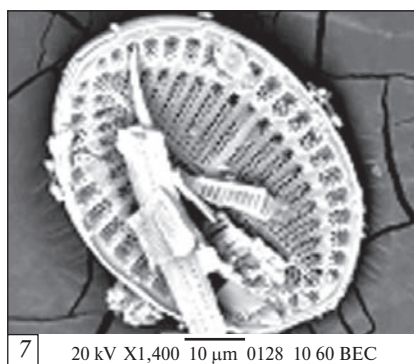
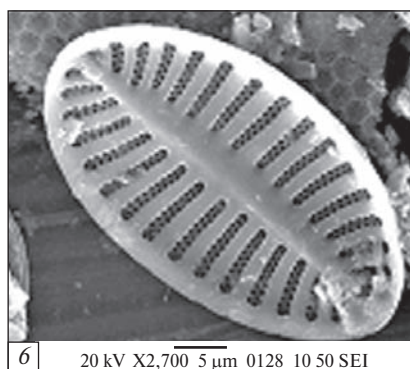
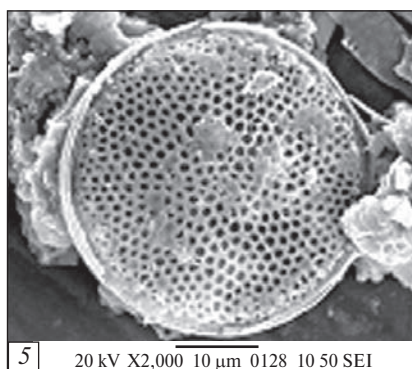
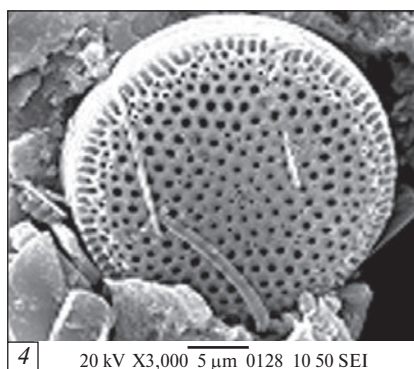
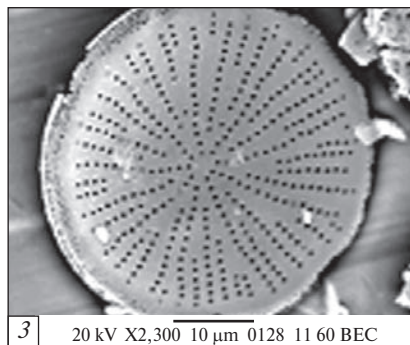
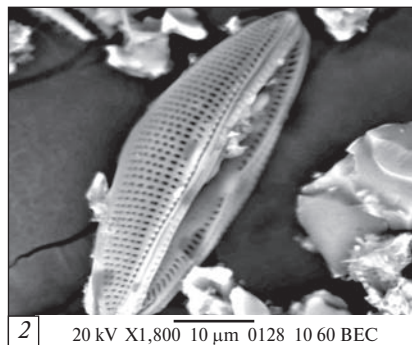
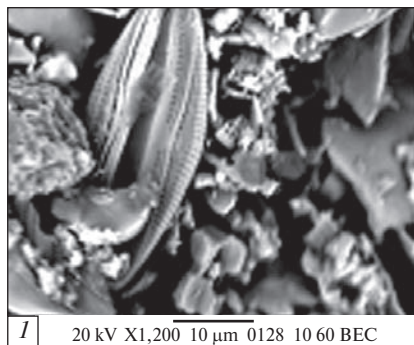
Кременескелетні органічні рештки досліджувались у 8 зразках із поверхневих донних відкладів колонки ст. А418 Stella Creek, довжина колонки 27 см, інтервал відбору 2—3 см.

У досліджених зразках виявлені чисельно багаті і таксономічно різноманітні асоціації діатомових водоростей пізньоголоценового віку, які за родовим та видовим складом в значній мірі ідентичні діатомовим, що мешкають нині у цьому регіоні. Крім діатомових, в осадах присутні численні спікули кремневих губок, незначна кількість силікофлагелат та форамініфер, молюски, фрагменти панцирів ракоподібних різного ступеня збереженості.

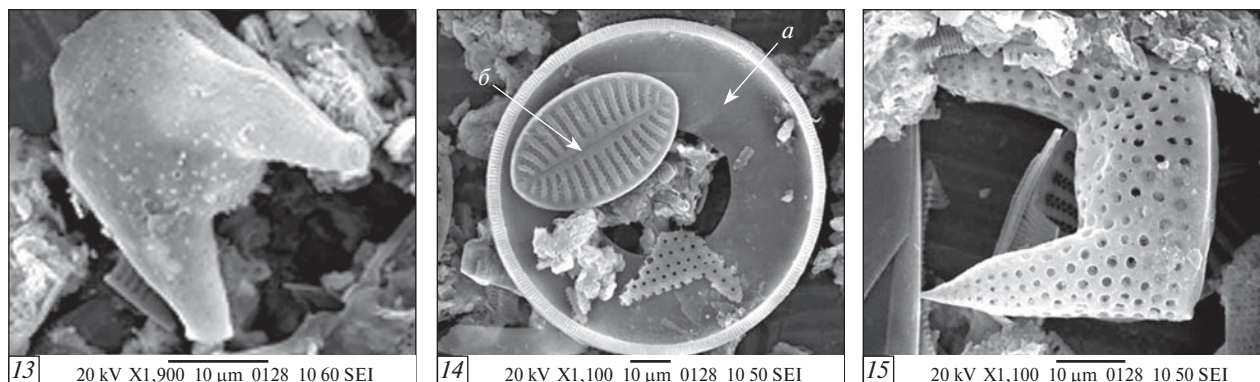
Таблиця 2. Хімічний склад зразків донних відкладів ст. А418 Stella Creek за результатами рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу

Table 2. Chemical composition results of Stella Creek bottom sediments according to SEM EDS analysis

Зразок	Інтервал відбору, см		Вміст оксидів, ваг. %									Ваг. %
			$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{SO}_3$	
Stella Creek 9	4—5	max	4,41	4,06	15,95	60,30	3,08	3,68	6,32	—	2,68	4,06
		min	3,84	3,13	14,49	57,39	1,84	3,21	5,60	—	2,31	2,70
		mean	4,13	3,60	15,22	58,85	2,46	3,45	5,96	0,90	2,50	3,38
Stella Creek 10	8—9	max	4,88	3,56	16,18	59,24	2,66	3,61	7,06	—	2,39	5,38
		min	4,70	2,79	13,78	56,48	2,12	3,18	4,28	—	1,88	4,45
		mean	4,79	3,18	14,98	57,86	2,39	3,40	5,67	0,94	2,14	4,92
Stella Creek 11	15—16	max	3,48	4,31	15,67	62,20	2,85	3,23	8,29	—	3,57	2,04
		min	3,01	2,99	14,92	58,29	2,51	2,52	6,74	—	2,57	1,93
		mean	3,25	3,65	15,30	60,25	2,68	2,88	7,52	—	3,07	1,99
Stella Creek 12	22—23	max	3,53	3,12	16,31	63,50	2,94	3,76	8,48	—	2,48	2,34
		min	2,74	2,91	14,19	59,86	2,24	3,15	5,84	—	2,14	1,96
		mean	3,14	3,02	15,25	61,68	2,59	3,46	7,16	—	2,31	2,15







**Рис. 4.** Характерні та домінуючі види діатомових водоростей в осадах станції A418 Stella Creeck (УАЕ, 2018). 1 — *Amphora copulata* (інт. 0–2 см), 2 — *Amphora* sp. (інт. 0–2 см), 3 — *Actinocyclus actinochilus* (інт. 3–5 см), 4 — *Thalassiosira antarctica* (warm) (інт. 3–5 см), 5 — *Thalassiosira antarctica* var. *borealis* (cool) (інт. 6–8 см), 6 — *Cocconeis costata* (інт. 12–14 см), 7 — *Cocconeis fasciolata* (інт. 0–2 см), 8 — *Pinnularia quadratarea* (інт. 12–14 см), 9 — *Entomoneis paludosa* (інт. 12–14 см), 10 — *Entomoneis gigantea* (інт. 12–14 см), 11 — *Navicula directa* (інт. 12–14 см), 12 — *Gyrosigma fasciola* (інт. 6–8 см), 13 — *Odontella litigiosa* (інт. 12–14 см), 14 — *Paralia sol* (а) та *Cocconeis costata* (б) (інт. 12–14 см), 15 — *Eucampia antarctica* (інт. 12–14 см). SEM

**Fig. 4.** Characteristic and dominant diatoms in sediments of Stella Creeck A418 (UAE, 2018). 1 — *Amphora copulata* (int. 0–2 cm), 2 — *Amphora* sp. (int. 0–2 cm), 3 — *Actinocyclus actinochilus* (int. 3–5 cm), 4 — *Thalassiosira antarctica* (warm) (int. 3–5 cm), 5 — *Thalassiosira antarctica* var. *borealis* (cool) (int. 6–8 cm), 6 — *Cocconeis costata* (int. 12–14 cm), 7 — *Cocconeis fasciolata* (int. 0–2 cm), 8 — *Pinnularia quadratarea* (int. 12–14 cm), 9 — *Entomoneis paludosa* (int. 12–14 cm), 10 — *Entomoneis gigantea* (int. 12–14 cm), 11 — *Navicula directa* (int. 12–14 cm), 12 — *Gyrosigma fasciola* (int. 6–8 cm), 13 — *Odontella litigiosa* (int. 12–14 cm), 14 — *Paralia sol* (a) and *Cocconeis costata* (б) (int. 12–14 cm), 15 — *Eucampia antarctica* (int. 12–14 cm). SEM

В цілому було визначено понад 60 видових таксонів кременескелетної мікрофлори (діатомових та силікофлагелат), що відносяться до 34 родів (рис. 4). У різних зразках по розрізу колонки співвідношення екологічних груп мікроводоростей виявилось в значній мірі подібним, що вказує на схожі умови утворення дослідженого шару донних відкладів колонки ст. A418 Stella Creek (Olshtynska, Shekhunova et al., 2019).

#### Екологічні групи діатомових водоростей ст. A418 Stella Creek

За аналізом екологічних уподобань діатомових та за їх відношенням до таких параметрів як глибина і солоність води, освітленість, гідродинаміка, характер ґрунту, трофність, присутність крижаного покриву, було виділено наступні екологічні групи: бентосні діатомові та епіфіти, тихопелагічні, ті, що обростають кригу, холодноводий морський планктон, умовно-тепловодий океа-

нічний планктон (Leventer, Dunbar, 1996, Xiao, Esper et al., 2016, Buffen, Leventer et al., 2007).

Таксономічний склад та співвідношення екологічних угруповань діатомових дозволяють встановити палеоекологічні та палеогеографічні умови їх існування, а також визначити характер осадиконакопичення у пізньому голоцені в акваторії Stella Creek (Olshtynska, Shekhunova et al., 2019, Buffen, Leventer, et al., 2007).

Серед діатомових домінує група бентосу та епіфітів, тобто видів, що мешкають на субстраті: ґрунтах різного типу, скелях, макроводоростях тощо. Їх кількість становить від 65% до 75% комплексу. Серед представників цієї групи найбільш численні види родів *Cocconeis* (10–15% від усіх діатомових) та *Amphora* (10–20%). У видовому складі цієї екогрупи представлені *Cocconeis fasciolata* (Ehr.) N.E. Brown, 1920 (5–15%), *C. costata* W.Gregory, 1855 (3–5%), *Amphora copulata* (Kütz.) Schoemann et Archibald, 1986 (10–15%), *Pinnularia quadratarea* (A.W.F. Schmidt) Cleve, 1895

(до 10%), цей вид може обростати морську кригу, *Gyrosigma fasciola* (Ehr.) J.W. Griffith & Henfrey, 1856 (від 5% до 8–10%). Така кількість бентосу та епіфітів вказує на мілководні умови існування, де глибина води становить не більше першого десятка метрів. У діатомовій асоціації присутні поодинокі прісноводні види, такі як *Amphora ovalis* (Kütz.) Kützing, 1844 (0,5–3%), що мешкають в озерах на прилеглих островах. Ці водорості потрапляють у морські умови із талою водою та кригою і можуть існувати у прибережній розпрісненій воді.

Друга екологічна група, тихопелагічні види, складає 3–5% від усіх діатомових. Серед них домінують *Odontella litigiosa* (Van Heurck) Hoban, 1980 та *Paralia sol* (Ehr.) Crawford, 1979. Ці види існують у планктонних асоціаціях, але для розмноження їм потрібен субстрат.

Кількість планктонних діатомових становить 20–30%. Серед планктону домінує морський холодноводий різновид *Thalassiosira antarctica* var. *borealis* G. Fryxell, Doucette, & Hubbard, 1981 (10–20%). Група океанічного умовно-тепловодного планктону представлена поодинокими екземплярами таких видів: тепловодим різновидом *T. antarctica* Comber, 1896 (warm), що розвивається при температурі +4 °C у водах, позбавлених морської криги (Armand, Crosta et al., 2005, Ольштинська, Огієнко, 2017) та видами *Thalassiosira lentiginosa* (Janisch) Fryxell, 1977, *Eucampia antarctica* (Castracane) Mangin, 1915, *Rhizosolenia styliformis* Brightwell, 1858. Відносно одноманітний склад планктону свідчить про слабкий вплив океанічних вод у районі відбору проби і домінацію холодноводих морських умов.

Близько 10% діатомової асоціації складають види, що можуть існувати на поверхні криги. В цій групі домінують *Entomoneis paludosa* (W. Smith) Reimer, 1975 (2–4%) та *E. gigantea* (Grun.) Nizamuddin, 1983 (1–2%). Представників роду *Fragilariopsis* — надійних індикаторів суворих крижаних умов, що можуть існувати у холодних водах навколо криги, у підкрижаному просторі, на поверхні та всередині криги — до 5%. Така відносно низька чисельність «крижаних» діатомових

на загальному фоні великої кількості антарктичних холодноводих видів може вказувати на те, що в районі дослідження морська крига присутня, але через те, що станція відбору донних осадків розташована у вузькій протоці, морські течії оминають цей район і завдяки низьким температурам айсберги можуть погано розвантажуватись.

## ВИСНОВКИ

Досліджені зразки донних відкладів Stella Creek в районі УАС «Академік Вернадський» представлені сірими та зеленувато-сірими органічно-теригенними алевро-пелітом, пелітовим алевритом, алевритом піщанистим. В осадках присутні органічні рештки: діатомові водорості, силікофлагеляти, фрагменти панцирів форамініфер, молюсків, ракоподібних різного ступеня збереженості.

Потоки теригенної седиментаційної речовини з площі її мобілізації (льодо-водозбір) та внаслідок абразії в районі проведення робіт слабкі. На це вказує гранулометричний склад осадків, переважає алевритового матеріалу з домішкою тонкозернистого піску і пеліту. Певна кількість речовини надходить у міжострівні акваторії з айсбергами та їх уламками (Lee J. et al., 2012). У досліджуваному басейні спостерігається значний дефіцит седиментаційної речовини.

У мінеральному складі осадків встановлено кварц, плагіоклаз, хлорит (залізовмісний клінохлор), іліт, опал (біогенний), амфіболи (рогова обманка), сидерит. Серед теригенних мінералів важкої фракції визначено ільменіт (з пірофанітовим міналом), циркон, монацит. Аутигенні мінерали представлені бактеріоморфними фрамбоїдальними скупченнями мікрочастин сульфідів заліза, сульфату кальцію та бариту. За результатами перерахунку хімічного складу теригенних компонентів донних відкладів на склад порід в області зносу встановлено, що одним із можливих джерел речовини були породи середнього хімічного складу. Деякі зерна кварцу несуть сліди льодової обробки.

В інтервалах колонки нижче 8 см і особливо нижче 20 см від дна осадки містять значну кількість тонкозернистого піриту, розмір кристалів — 1—5 мкм. Наявність значної кількості аутигенного піриту свідчить про переважання аноксичних умов, що запобігає аеробному розпаду органіки. При відсутності стійкої циркуляції вод проявляється тенденція до формування застійних зон з незавершеним біогенним циклом (Бондарь та ін., 2000).

Результати дослідження свідчать, що осадки сформувалися за умов низької гідродинамічної активності з локальними аноксичними умовами, сприятливими для ранньодіагенетичної біогенної сульфатредукції.

Асоціації мікрободоростей за своїм видовим складом та екологічними групами по розрізу в значній мірі однорідні, що вказує на доволі схожі умови формування дослідженого 27 сантиметрового шару донних осадків. За кількісним співвідношенням видів у різних екологічних групах виділяються три інтервали, які співпадають з шарами, визначеними за гранулометричним складом.

Аналіз таксономічного складу діатомових та їх кількісних співвідношень у шарі донних осадків станції А418 дозволяють зробити висновок, що осадконакопичення в *Stella Creek* у пізньочетвертинний час відбувалось в морських холодно-водних умовах, подібних до сучасних, на глибині не більше 10 м. Температура морської води протягом року коливалась в середньому від  $-1,0$  °C до  $+1,5$  °C. Впродовж зимового періоду відзначається присутність щільного покриву морської криги. В літній сезон фіксується присутність дрейфуючої криги. Але айсберги в межах цієї ділянки розвантажуються погано через екранування довколишніми островами, що впливають на течії. Вплив океанічної води був незначним, присутність відкритоморських діатомових можна пояснити заносом припливно-відпливними процесами.

Представлені результати роботи можуть бути використані при подальших дослідженнях в антарктичному регіоні, як основа для запровадження моніторингу, визначення віку донних відкладів та відтворення кліматичних змін за остан-

ні століття, характеру та інтенсивності антропогенного впливу на природні процеси.

**Подяки.** Дослідження виконано в рамках НТР «Геологічне обстеження дна акваторії Аргентинських островів та Антарктичного півострова в районі антарктичної станції Академік Вернадський» за договором з Державною установою Національний антарктичний науковий центр Міністерства освіти і науки України (ДУ НАНЦ МОН України) № Н/5-2018 від 19.11.2018р. відповідно до Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011—2020 роки, № держреєстрації 0120U100085.

Літолого-мінералогічні дослідження структури та складу зразків виконано на базі обладнання Центру колективного користування науковими приладами Інституту геологічних наук НАН України, що має фінансову підтримку за бюджетною програмою НАН України КПКВК 6541230 «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень».

#### ЛІТЕРАТУРА

- Бондарь С.Б., Орлова И.Г., Усенко В.П. Ингредиенты химического загрязнения экосистемы шхерного мелководья островов Аргентинского архипелага. *Бюл. Укр. антаркт. центру.* 2000. № 3. С. 192—208.
- Гожик П.Ф., Греку Р.Х., Усенко В.П. Карта рельефа дна мелководной зоны архипелага Аргентинских островов в районе украинской антарктической станции «Академик Вернадский». *Геол. журн.* 2002. № 1. С. 128—131.
- Ольштынская А.П., Огиенко О. С. Позднечетвертичные колебания климата в Западной Антарктике и их влияние на морские кремнистые микроводоросли. *Український Антарктичний журнал.* 2017. № 16, С. 37—44.
- Ольштынская О.П., Шехунова С.Б., Огиенко О.С., Стадніченко С.М. Літологічні та мікропалеонтологічні дослідження четвертинних осадків західного шельфу Антарктичного півострова. *Мат. ІХ Міжнар. Антаркт. конф., присв. 60-чю підписання Договору про Антарктику 1959 р., (Київ, 14—16 травня 2019 р.).* Київ. 2019. 145—147.
- Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов.* Под ред Шванова В.Н. СПб.: Недра, 1998. 352 с.
- Стадніченко С.М. Сучасні методи визначення гранулометричного складу осадкових порід та особливості їх застосування. *Зб. наук. пр. ІГН НАН України.* 2009. № 2, С. 152—161.

- Armand, L.K., Crosta, X., Romero, O., Pichon, J.-J. 2005. The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments: 1. Sea ice related species. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 223, 93–126.
- Baines, S.B., Twining, B.S., Brzezinski, M.A., Nelson, D.M., Fisher, N.S. 2010. Causes and biogeochemical implications of regional differences in silicification of marine diatoms. *Global Biogeochemical Cycles*, 24, GB4031, <https://doi.org/10.1029/2010GB003856>.
- Boyd, Ph.W. 2019. Physiology and iron modulate diverse responses of diatoms to a warming Southern Ocean. *Nature Climate Change*, 9, 148–152. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0389-1>.
- Buffen, A., Leventer, A., Rubin, A., Hutchins, T. 2007. Diatom assemblages in surface sediments of the northeastern Weddell Sea, Antarctic Peninsula. *Mar. Micropaleontol.*, 62, 7–30.
- Heroy, D.C., Sjunneskog, Ch., Anderson, J.B. 2008. Holocene climate change in the Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: evidence from sediment and diatom analysis. *Antarctic Science*, 20 (1), 69–87. <https://doi.org/10.1017/S0954102007000788>.
- Lee, J., Yoon, H., Yoo, K.-C., Lim, H. S., Lee, Y., Kim, D., Bak, Y.-S., Itaki, T. 2012. Late Quaternary glacial–interglacial variations in sediment supply in the southern Drake Passage. *Quaternary Research*, 78, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.03.010>.
- Leventer, A., Dunbar, R. B. 1996. Factors influencing the distribution of diatoms and other algae in the Ross Sea. *J. Geophys. Res.*, 101, 18489–18500.
- McNair, H.M., Brzezinski, M.A., Till, C. P., Krause, J. W. 2018. Taxon-specific contributions to silica production in natural diatom assemblages. *Limnology and Oceanography*, 63 (3), 1056–1075. <https://doi.org/10.1002/lno.10754>.
- Passchier, S., Ciarletta, D., Henao, V., Sekkas, V. 2017. Sedimentary processes and facies on a high-latitude passive continental margin, Wilkes Land, East Antarctica End. *Glaciated Margins: The Sedimentary and Geophysical Archive*. Geological Society, London, Special Publications, 475. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4031218.v1>.
- Petrou, K., Baker, K., Nielsen, D.A., Hancock, A.M., Schulz, K.G., Davidson, A.T. 2019. Acidification diminishes diatom silica production in the Southern Ocean. *Nature Climate Change*, 9, 781–786. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0557-y>.
- Xiao, W., Esper, O., Gersonde, R. 2016. Last Glacial — Holocene climate variability in the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Quaternary Science Reviews*, 135, 115–137.
- Gozhik, P.F., Greku, R.Kh., Usenko, V.P. 2002. Map of the bottom topography of the shallow zone of the Argentinean islands archipelago in the vicinity of the Ukrainian Antarctic Academician Vernadsky station. *Geol. Journal*, 1, 128–131. (In Russian).
- Olshtynska, A. P., Ogienko, O. S. 2017. Late Quaternary climate variations in Western Antarctica and their impact on the marine siliceous microalgae. *Ukrainian Antarctic Journal*, 16, 37–44. (In Russian).
- Olshtynska, O., Shekhunova, S., Ogienko, O., Stadnichenko, S. 2019. Lithological and Micropaleontological Quaternary Sediments Research of the Antarctic Peninsula Western Shelf. *IX Intern. Antarctic Conf. Dedicated to the 60th Anniversary of the Signing of the Antarctic Treaty in the Name of Peace and Development of International Cooperation*. Kyiv, Ukraine, 14–16 May, 2019, 145–147.
- Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues*. 1998. Ed. by Shvanov V.N. St. Petersburg: Nedra, 352 (In Russian).
- Stadnichenko S.M. 2009. Current methods of particle size distribution analysis of sedimentary rocks and peculiarities of their application. *Collection of Scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, 2, 152–161. (In Ukrainian).
- Armand, L.K., Crosta, X., Romero, O., Pichon, J.-J. 2005. The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments: 1. Sea ice related species. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 223, 93–126.
- Baines, S.B., Twining, B.S., Brzezinski, M.A., Nelson, D.M., Fisher, N.S. 2010. Causes and biogeochemical implications of regional differences in silicification of marine diatoms. *Global Biogeochemical Cycles*, 24, GB4031, <https://doi.org/10.1029/2010GB003856>.
- Boyd, Ph.W. 2019. Physiology and iron modulate diverse responses of diatoms to a warming Southern Ocean. *Nature Climate Change*, 9 (2), 148–152. <https://www.nature.com/s41558-018-0389-1>. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0389-1>.
- Buffen, A., Leventer, A., Rubin, A. and Hutchins, T. 2007. Diatom assemblages in surface sediments of the northeastern Weddell Sea, Antarctic Peninsula. *Mar. Micropaleontol.*, 62, 7–30.
- Heroy, D.C., Sjunneskog, Ch., Anderson, J.B. 2008. Holocene climate change in the Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: evidence from sediment and diatom analysis. *Antarctic Science*, 20 (1), 69–87. <https://doi.org/10.1017/S0954102007000788>.
- Lee, J., Yoon, H., Yoo, K.-C., Lim, H. S., Lee, Y., Kim, D., Bak, Y.-S., Itaki, T. 2012. Late Quaternary glacial–interglacial variations in sediment supply in the southern Drake Passage. *Quaternary Research*, 78, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.03.010>.
- Leventer, A., Dunbar, R. B. 1996. Factors influencing the distribution of diatoms and other algae in the Ross Sea. *J. Geophys. Res.*, 101, 18489–18500.

## REFERENCES

Bondar, S.B., Orlova, I.G., Usenko, V.P. 2000. Ingredients of chemical pollution of the skerry shallow ecosystem of the islands of the Argentinean archipelago. *Bul. Ukr. Antarct. Center*, 3, 192–208. (In Russian).

McNair, H.M., Brzezinski, M.A., Till, C. P., Krause, J. W. 2018. Taxon-specific contributions to silica production in natural diatom assemblages. *Limnology and Oceanography*, 63 (3), 1056–1075. <https://doi.org/10.1002/lno.10754>.

Passchier, S., Ciarletta, D., Henaou, V., Sekkas, V. 2017. Sedimentary processes and facies on a high-latitude passive continental margin, Wilkes Land, East Antarctica End. *Glaciated Margins: The Sedimentary and Geophysical Archive*. Geological Society, London, Special Publications, 475. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4031218.v1>.

Petrou, K., Baker, K., Nielsen, D.A., Hancock, A.M., Schulz, K.G., Davidson, A.T. 2019. Acidification diminishes diatom silica production in the Southern Ocean. *Nature Climate Change*. 9, 781–786. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0557-y>.

Xiao, W., Esper, O., Gersonde, R. 2016. Last Glacial — Holocene climate variability in the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Quaternary Science Reviews*, 135, 115–137.

Надійшла 27.11.19

Прийнята 28.12.19

O. P. Olshtynska<sup>1</sup>, \*, S. B. Shekhunova<sup>1</sup>, S. M. Stadnichenko<sup>1</sup>, O. S. Ogienko<sup>2</sup>, V. V. Permyakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine,  
55-b O. Gonchar Str., Kyiv, 01054, Ukraine

<sup>2</sup> Institute of Geology of Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

\*Corresponding author: ol-lesia@ukr.net

#### Lithological and micropaleontological characteristic of the *Stella Creek* bottom sediments (Antarctic Peninsula western shelf)

**Abstract.** **Main objective of the study** – comprehensive research of material, particle size, mineral, chemical and micropaleontological composition, together with analysis of depositional environment of the *Stella Creek* bottom sediments. Material – bottom sediments samples of the *Stella Creek*, a small inter-island section, which is the terminal drainage basin of the Galindez and Winter islands from the water area adjacent to the Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky station were studied. **Methods:** particle size, mineral and chemical composition analyses were carried out using a scanning electron microscope with microprobe analysis; ultrasonic disintegration of rocks was used to remove paleontological remains; photographing and determining the taxonomic composition of microalgae were performed with light and electron microscopes. **Results.** The mineral composition of the bottom sediments is represented by quartz, plagioclase, chlorite (iron-containing clinochlore), illite, opal (biogenic), amphibole (hornblende), siderite. Among terrigenous minerals of heavy fraction, ilmenite (with manganese), zircon, and monazite are determined. Authigenic minerals are represented by bacteriomorphic framboidal clusters of iron sulfide microcrystals, calcium sulfate, and barite. Among the organic residues in sediments, diatom frustules predominate. Diatoms have three intervals, which coincide with the layers defined by particles size distribution analysis. **Conclusions.** Bottom sediments were formed in Late Quaternary time in cold-sea conditions and low hydrodynamic activity with local conditions favorable for early diagenetic biogenic sulfate reduction.

**Keywords:** Argentine Islands, bottom sediments, diatoms, Holocene, material composition, sedimentation shelf.