

УДК (550.42:551.352):593.12 262.5)

© Г.О. Кравчук, 2011

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова

СУЛЬФІДИЗАЦІЯ БЕНТОСНИХ ФОРАМІНІФЕР ЯК ПРОЯВ СУЧАСНИХ ЗМІН ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОМУ ШЕЛЬФІ ЧОРНОГО МОРЯ

Аномалії розвитку бентосних форамініфер як індикаторів середовища демонструють наявність токсичних ефектів in situ. Сульфідизація форамініфер свідчить про розвиток редуційних процесів і появу місцевого сірководню в умовах гіпоксії та відбиває закономірності сучасних змін геоecологічних умов на шельфі.

Вступ. Сульфідоутворення в донних осадах розвивається у відносно оточенні на фоні інтенсивного материкового стоку і високої біологічної продуктивності водної товщі. Цей процес ускладнюється техногенними чинниками, що порушують фізико-хімічні умови міграційних процесів при забрудненні середовища [3]. Мікроосередки накопичення сульфідів створюються сульфатредуючими бактеріями у всьому об'ємі черепашок мертвих організмів, але локалізуються і в окремих камерах живих форм.

Сульфідоутворення в порожнинах черепашок форамініфер звичайно пов'язане із завершенням життєвого циклу організмів. Поряд із природним розвитком мікроосередкової мінералізації відмерлих органічних залишків, на окремих ділянках шельфу можливе посилення бактеріальної діяльності в макрооб'ємах седиментаційного матеріалу.

Масова сульфідизація форамініфер супроводжує розвиток редуційних процесів і появу місцевого сірководню в умовах гіпоксії. Зниження видової вибірності сульфідоутворення, на нашу думку, належить до ознак посилення сірководневого зараження суміжних середовищ «вода–осади». В кисневому геохімічному оточенні прибережної зони шельфу ці події мають пряме відношення до наслідків забруднення.

Особливу актуальність становить експресне виявлення ареалів масового накопичення сульфідів та підрахунок кількості сульфідизованих організмів для оцінки інтенсивності процесу.

Матеріали й методи. Комплексні дослідження рецентної мікрофауни, донних осадків і водної товщі проведені на 59 станціях в районі від дельти Дунаю до Дніпро-Бузького лиману. Робоча схема польових досліджень передбачала відбір, документацію і підготування аналітичних проб. Проби донних осадків відібрані дночерпачем типу «Океан» із площею захоплення 0,25 м². Зразки консервувалися в скляних або пластикових ємностях і ґрупувалися за видами лабораторних досліджень. Мікропалеонтологічне і літолого-геохімічне вивчення донних відкладів проводилося з дотриманням узвичаєних методик.

Фоновий розподіл бентосних форамініфер охарактеризовано за матеріалами колекцій з фондів Палеонтологічного музею ОНУ. Морфологічний

аналіз виконувався при вивченні форамініфер під біокулярним мікроскопом та методом скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). Кількісна характеристика аномалій розвитку аналізувалася на основі корелятивних та багатомірних зв'язків із результатами геохімічних досліджень.

Результати та обговорення. Інтегральним показником нестабільності екологічного оточення служить коефіцієнт сульфідизації форамініфер, що характеризує співвідношення видів сульфідизованих форм і загального числа видів у точці спостереження (рис. 1).

Частота знахідок сульфідизованих форм у популяціях форамініфер на досліджуваній площі має таку послідовність: *Ammonia tepida* (Cushman) (67%) - *Porosononion subgranosus* Bogdanowicz (33%) – *Ammonia compacta* (Hofker) (30%) – *Porosononion martcobi martcobi* Bogdanowicz (16%) – *Porosononion martcobi ponticus* Janko (16%) – *Haynesina anglica* (Murray) (14%) – *Criboelphidium roeyanum* (d'Orbigny) (11%). Представники перших трьох видів складають 77% загальної кількості сульфідизованих форамініфер.

В північній частині шельфової області посилення сульфідоутворення на граничному рівні (від 50 до 70% видів) характеризується мозаїчним розподілом і звичайно локалізується в місцях скидання промислових і господарських відходів (рис. 1А).

Критичний рівень сульфідизації форамініфер (понад 70% видів) спостерігається на станціях 99–19 і 99–20 біля мису Аджияск, де можливе гальмування вздовжберегового потоку забруднення, що надходить із Дніпро-Бузького лиману. Не менш помітну роль у формуванні ареалів сульфідизації грає те, що приуствеві райони є основними осередками заморних явищ на шельфі.

Граничний рівень сульфідизації форамініфер відзначається також на двох станціях (98–137 і 98–263) у фронтальній частині дельти Дунаю. Сульфідоутворення охоплює понад 50% видів, поширених біля західного контуру Мідієвого поля, на межі із прибережними мулистими осадками (рис. 1 В).

В травні 1998 року біля острова Зміїний на станціях 98–263 і 98–137 відзначено максимальну щільність сульфідизованих форамініфер. До мінералізації схильні переважно черепашки *Ammonia tepida*, що характерне для більшості станцій прибережної частини шельфу. У вересні 1999 року на ділянці Іллічівськ–Одеса–Очаків підвищену кількість сульфідизованих форамініфер відзначено на трьох станціях. Перший максимум виділяється на звалищі Іллічівського порту (станція 99-1). Сульфідизація згодом пов'язана з наслідками дампінгу і охоплює переважно черепашки *Ammonia tepida*.

Біля східного флангу мису Аджияск на станції 99–20 виявлене посилення сульфідизації. Сульфідиди накопичуються переважно в черепашках *Porosononion subgranosus* і *Ammonia tepida* у співвідношенні 41:16. Аномальна сульфідизація форамініфер біля мису Аджияск обумовлена стійкістю заморних явищ у цьому районі. Зберігання високого рівня евтрофікації вод наприкінці літнього сезону підтверджується максимальною концентрацією хлорофілу-А в придонних водах станції 99–20, що складає 6,44 мг/л.

Абсолютний максимум сульфідизації визначений біля мису Великий Фонтан (станція 99-5). Сульфідиди переважають в черепашках трьох видів -

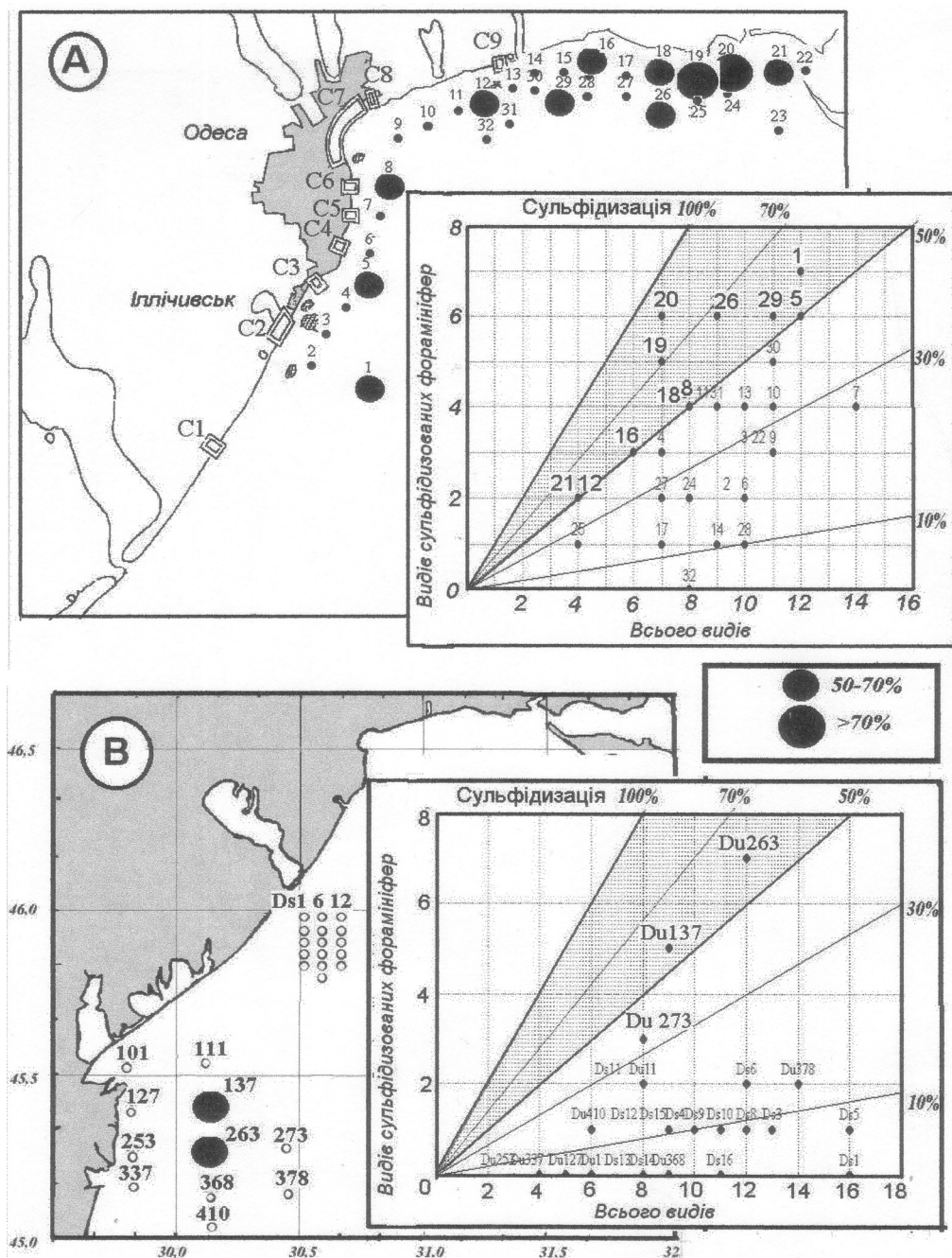


Рис. 1. Співвідношення загальної кількості видів форамініфер та видів сульфідизованих форм в районі Іллічівськ – Одеса – Очаків (А) та районах Дністровської банки, острова Зміїний (В)

Ammonia compacta, *Porosonion martcobi martcobi*, *Ammonia tepida*, - при співвідношенні 71:21:8. Явне відхилення кількісних показників від регіональних рівнів забруднення контролюється двома чинниками:

- Найважливіша роль мису Великий Фонтан у гальмуванні вздовжберегових потоків речовини між Дністровським лиманом і Одеською затокою;
- скидання каналізаційних стоків м. Одеси на станції «Південна».

Присутність сульфідів заліза та активізація мікробіологічних процесів в осадах обумовлені зниженням регенераційної спроможності морського середовища. Як відомо [2, 5], ці показники застосовуються в шкалі сапробності Р.Кольквітца і М.Марсона, розробленої для розмежування олігосапробних (незабруднених), мезосапробних (середнього забруднення) і полісапробних (дуже сильного забруднення) оточень.

Мікроосередкове зародження сульфідів у черепашках форамініфер є характерним процесом, що супроводжує підвищення сапробності середовища. Накопичення сульфідів пов'язане з посиленням діяльності сульфатредуючих бактерій, що неоднозначно впливають на організми форамініфер.

На північно-західному шельфі Чорного моря сульфіди заліза спостерігаються переважно для живих форм *Ammonia tepida* і *Ammonia compacta*. В районі Дністровської банки (станція 98–8) сульфідизація виявлена в одиничних екземплярах *Ammonia tepida* і *Elphidium caspicum*. Біля дельти Дунаю накопичення сульфідів встановлене в одиничних черепашках *Nonion matagordanus* (в асоціації з *Ammonia tepida* на станції 98–263), *Haynesina anglica* (в асоціації з *Ammonia compacta* на станції 98–137), *Porosonion martcobi* (станція 98–111). Явне ослаблення механізмів захисту проти прижиттєвої сульфідизації форамініфер, на нашу думку, пов'язане з появою сірководню в придонних водах і накладеним впливом високих темпів седиментації в геохімічному бар'єрному контурі Дунаю [1].

Сульфідні скупчення в черепашках живих форамініфер мають чорне або сірувато-чорне забарвлення, яке при висушуванні і збереженні зразків у повітряному середовищі змінюється до коричневого і вохристо-бурого. Швидке окислювання сульфідної речовини свідчить про присутність метастабільних утворень типу гідротроїліту.

Сто років, після досліджень А.Веріго, М.Єгунова, Н.Андрусова, гідротроїліт розглядався як сукупність коломорфних і погано розкристалізованих компонентів, у складі яких переважають сульфіди двовалентного заліза [1]. В даний час в гідротроїлітовій складовій осади встановлено розмаїтість кристалічних фаз, поданих переважно сульфідами тривалентного заліза – грейгітом Fe_3S_4 і тетрагональним Fe_2S_3 . Для окремих проб відзначено присутність моносульфиду заліза – макинавїт або канзит [5]. Сульфопіпелі типу грейгіту належать до найбільш поширених аутигенних мінералів в осадах Чорного, Азовського, Каспійського і Середземного морів [4, 6, 7]. З цього випливає, що на ранніх стадіях сульфідоутворення формуються кристалічні фази, серед яких переважають ізоструктурні аналоги кисневих сполук. Пірит, що формується на пізніх стадіях процесу, в рецентних форамініферах Чорного моря не виявлений.

Сульфіди заліза в донних осадах і черепашках форамініфер утворюють однотипні агрегати типу фрамбоїдів. Сталість морфології фрамбоїдальних агрегатів пов'язана із формуванням гроноподібних скупчень мікроглобулей гідротроїліту та мікрочисталів сульфідів заліза. Присутність грейгіту діагностується за типовим тетраедричним або октаедричним габітусом кристалів. В багатьох випадках розподіл часток у фрамбоїдах підпорядковується закономірностям щільноупакованих структур (рис. 2).

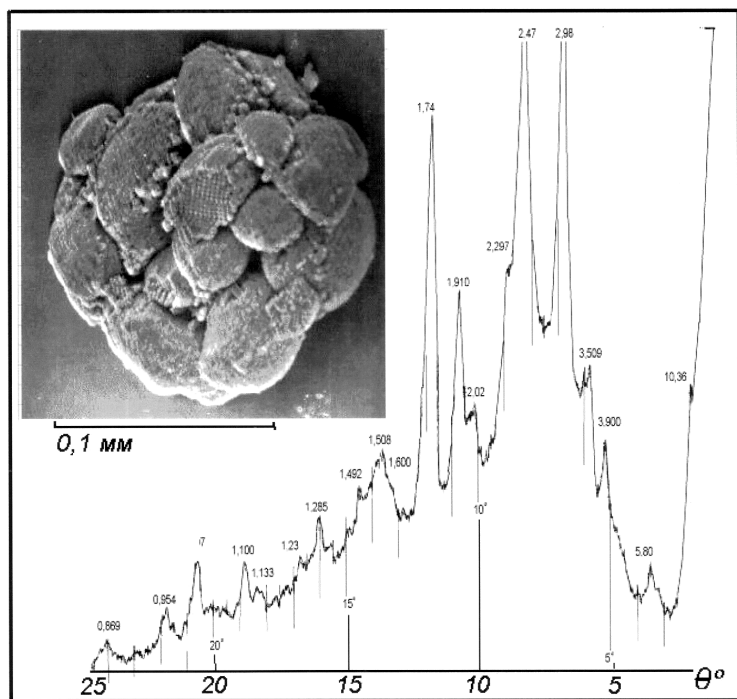


Рис. 2. Діфрактограма грейгіту, що складає чорнокольорові мікростяжиння в донних відкладах Чорного моря (зразок 111–86) та типовий вигляд фрамбоїдальних сульфідних агрегатів з регулярним розташуванням кристалічних індивідів

Таким чином, ознаки сульфатредуючих процесів характеризуються мікроосередковим утворенням метастабільних сульфідів в рецентних форамініферах. Прелік видів сульфідизованих форамініфер розширю-

ється при підвищених швидкостях седиментації і сірководневого зараження придонних вод.

Висновки. Аномальний розвиток сульфідизації форамініфер є характерним для ареалів органічного забруднення морського середовища і пов'язаний зі скиданням господарських відходів (мис Великий Фонтан, Одеська затока), або з наслідками евтрофікації водної товщі (мис Аджияск, узмор'я Дунаю). Ознаки порушення стабільності розвитку організмів у цих умовах виявляються при постійному або спорадичному сірководневому зараженні придонних вод. В усіх випадках сульфідизація узгоджується зі зниженням видової розмаїтості живих форамініфер, що свідчить про можливу наявність абіогенних зон у безпосередній близькості від джерел забруднення.

Важливим аспектом об'єктивної оцінки екологічної ситуації служить наявність сульфідних включень в черепашках рецентних форм. Прижиттєве накопичення сульфідів у форамініферах виявлене в місцях масового розвитку процесу в Дунайсько-Дністровській частині шельфу (станції 98–137, 98–263, 98–8 і 98–111). Знахідки живих сульфідизованих форм є єдиним аргументом для неспекулятивних висновків про зв'язок забруднення і сульфідизації.

В процесі дослідження встановлено, що інтегральні показники сульфідизації бентосних форамініфер об'єктивно відбивають загальні закономірності сучасних змін геоекологічних умов на шельфі.

1. Кравчук А.О. Современные изменения условий осадконакопления и бентосные фораминиферы как индикаторы загрязнения северо-западного шельфа Черного моря // Проблемы геотоксикологии. – Одесса, 2002.
2. Кравчук А.О., Кравчук О.П. Новый принцип оптимальной оценки техногенных нарушений в морской среде // Мінералогія в Одесі на межі тисячоліть. – Одеса, 2000.

3. *Кравчук А.О., Кравчук О.П.* Аутигенные сульфиды в раковинах фораминифер // Від геології до біосферології. Проблеми сьогодення, майбутні перспективи. Матеріали всеукраїнської наукової конференції (21-23 лютого 2007 р.)– Київ, 2007.- С.80-82.
4. *Кравчук О.П., Пунько В.П., Кадурын В.Н., Сучков И.А.* Геотоксикология морской среды.– Одесса: Астропринт, 1996. – 216 с.
5. *Морозов Г.А., Сидоренко Г.А., Коровушкин В.В.* О диагенетическом сульфиде трехвалентного железа в осадках Черного моря. // Литология и полезные ископаемые. – 1987. – № 1. – С. 127-138.
6. *Yanko-Hombach V., Bresler V., Motnenko I., Avsar N., Kravchuk A.* Benthic foraminifera of intercontinental basins: Implication for pollution monitoring // Second International Conf. Applications of Micro- and Meioorganisms to Environmental Sciences. - Winnipeg (Canada). – 2000.
7. *Yanko, V., Kravchuk, O.* Morphology and anatomy framboidal iron sulfides in foraminiferal tests and marine sediments. Israel Geol. Soc., Annual Meeting, Ashkelon-Israel, Abstracts Volume. (1992) – P. 171 - 172.

Аномалии развития бентосных фораминифер как индикаторов среды демонстрируют наличие токсичных эффектов in situ. Сульфидизация фораминифер свидетельствует о развитии редукционных процессов и появлении местного сероводорода в условиях гипоксии и отражает закономерности современных изменений геоэкологических условий на шельфе.

Anomalies in development of Benthic foraminifera as indicators of environment show presence of toxic effects in situ. Sulphidization foraminifera testifies to development occurrence of local hydrogen sulfide in the conditions of a hypoxemia and reflects laws of modern changes of geoeological conditions in a shelf.

Одержано 21.11.2010 р.