

ВПЛИВ АНТРОПОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ДОННИХ ОСАДКІВ МІЛКОВОДНИХ АКВАТОРІЙ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ В ГОЛОЦЕНІ ЗА ДІАТОМОВИМИ ВОДОРОСТЯМИ

THE EFFECT OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE HOLOCENE BOTTOM SEDIMENT FORMATION OF THE SHALLOW WATER AREAS IN THE BLACK SEA NORTHWESTERN SHELF ON DIATOMS

О. П. Ольштинська, Ю. А. Тимченко
Olexandra P. Olshtynska, Yuliia A. Tymchenko

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55-b O. Honchara Str., Kyiv, Ukraine, 01601
(ol-lesia@ukr.net, maeotica@ukr.net)

Сучасні водні екосистеми мілководних пригирлових ділянок північно-західного шельфу Чорного моря розвиваються під дією як природних, так і антропогенних факторів. Чутливими організмами-індикаторами екологічних умов водного середовища є діатомові водорості, численні в цих водах. Мета статті — за допомогою аналізу екологічної структури діатомових комплексів із розрізів колонок новоевксинських-голоценових донних осадків виявити дію антропогенних факторів на седиментаційні обставини пізнього голоцену. Дослідження проведено на ділянках шельфу у межах Одеської затоки та поблизу дельти Дунаю. Визначено, що специфіка сучасної седиментації та екологічні умови мілководних акваторій північно-західного шельфу залежать від рівнинного рельєфу дна, значного обсягу річкових вод і завислих наносів, зарегульованості стоку основних приток, підвищеної біопродуктивності та високого рівня антропогенного навантаження. Для досліджуваних акваторій визначено характерні види та типові співвідношення екологічних груп діатомових, які вказують на етапи голоценової трансгресії в прибережній зоні. Для відкритої Одеської затоки ознакою настання морських умов середнього-пізнього голоцену є поява літорального комплексу з домінуванням виду *Paralia sulcata* у планктоні. Встановлено, що діатомові комплекси з поверхневих осадків пригирлових ділянок Одеської банки та Кілійської дельти відрізняє поява планктонних і епіфітних видів-індикаторів евтрофікації та антропогенного забруднення вод. За проведеними розрахунками, такий осадок сформувався впродовж другої половини ХХ ст., коли відбулися суттєві техногенні зміни гідрологічного режиму Дніпра та Дунаю. Отже, вертикальні послідовності складу діатомових комплексів дозволили простежити не тільки природні трансформації обставин седиментації внаслідок голоценової трансгресії, а й відповідь біотопів на антропогенні зміни. Проведені дослідження показали, що характер седиментації на мілководному шельфі змінився з другої половини ХХ ст., що стало результатом інтенсивного антропогенного впливу.

Ключові слова: голоцен, діатомові, евтрофікація, річковий стік, Чорне море, Україна.

Modern water ecosystems of the northwestern Black Sea shelf shallow coastal areas develop under the influence of both natural and anthropogenic factors. Diatoms, which are abundant in these waters, are sensitive organisms-indicators of the ecological conditions of the aquatic environment. The purpose of the article is to reveal the effect of anthropogenic factors on the Late Holocene sedimentary conditions using the analysis of the ecological structure of diatom assemblages from the Novoeuksinian-Holocene bottom sediments column sections. The research was carried out on the shelf areas within the Gulf of Odesa and near the Danube Delta. It was determined that the specifics of modern sedimentation and ecological conditions of the northwestern shelf shallow water areas depend on the flat bottom relief, a significant amount of river water and suspended sediments, regulated flow of the main tributaries, increased bioproductivity and a high level of anthropogenic load. The characteristic species and typical ratios of diatom ecological groups indicating the stages of Holocene transgression in the coastal zone were determined for the studied water areas. For the open Gulf of Odesa, the appearance of the littoral assemblage with the dominance of *Paralia sulcata* species in the plankton is a sign of the onset of the Middle-Late Holocene marine conditions. It has been established that diatom assemblages from the surface sediments of the Odesa Bank and the Chilia Delta branch estuarine areas are distinguished by the appearance of planktonic and epiphytic species-indicators of eutrophication and anthropogenic water pollution. According to the calculations, this sediment was formed during the second half of the 20th

Цитування: Ольштинська О. П., Тимченко Ю. А. Вплив антропогенних факторів на формування донних осадків мілководних акваторій північно-західного шельфу Чорного моря в голоцені за діатомовими водоростями. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2023. Т. 16, вип. 2. С. 24–36. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2023.294230>.

Citation: Olshtynska O. P., Tymchenko Yu. A., 2023. The effect of anthropogenic factors on the Holocene bottom sediment formation of the shallow water areas in the Black Sea Northwestern shelf on diatoms. Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine. Vol. 16. Iss. 2. Pp. 24–36. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2023.294230>.

century, when significant anthropogenic changes in the hydrological regime of the Dnipro and Danube occurred. As a result, the vertical sequences of diatom composition made it possible to trace not only the natural transformations of sedimentation conditions due to the Holocene transgression, but also the response of biotopes to anthropogenic changes. The studies have shown that the nature of sedimentation on the shallow shelf has changed since the second half of the 20th century, which was the result of intense anthropogenic impact.

Keywords: Holocene, diatoms, eutrophication, river flow, Black Sea.

ВСТУП

Північно-західний шельф Чорного моря характеризується великою динамічністю та малою інерційністю природних процесів седиментогенезу. Поступальна трансформація умов седиментації в межах сучасного шельфу Чорного моря визначається насамперед розвитком післяльодовикової голоценової трансгресії. Зі зростанням технологічних можливостей людини до природних чинників зміни водного середовища додалися антропогенні фактори. За останні століття вони виявилися настільки значними, що докорінно змінили тренди розвитку найбільш вразливих акваторій. У Чорному морі такими акваторіями є мілководні прибережні ділянки шельфу, приурочені до гирл найбільших приток з великими площами водозбору. Зі стоком великих річок до басейну седиментації надходять розчинені хімічні й органічні сполуки та завислі речовини, що суттєво впливає на екологічний стан та трофічність північно-західної частини морського прибережжя України. У перехідній зоні шельфу, де відбувається змішування прісних річкових і солоних морських вод, формується потужний геохімічний бар'єр. Для нього характерні досить різка зміна співвідношення та міграційної здатності розчинених у воді хімічних сполук. Тут відбуваються осадження зависі, коагуляція і флокуляція з наступним осіданням речовин з розчинів і колоїдів (Мороз, Митропольський, 1988).

Особливу роль при аналізі впливу природних і антропогенних факторів на умови седиментації відіграють численні планктонні і бентосні одноклітинні організми, переважно діатомові водорості, чутливі до мінливих умов існування та захоронення, які є індикаторами змін природного середовища. Коливання чисельності та складу діатомових у комплексах, різка зміна їхнього таксономічного складу та різноманіття по розрізу, латеральні відміни, а також масові вимирання свідчать про трансформації обстановок седиментації в мілководній зоні північно-західного шельфу Чорного моря. В умовах сучасного шельфу на тлі трансгресії яскраво проявляється антропогенний вплив, пов'язаний зі змінами гідрологічного

балансу, гідрохімічного складу води та обсягів постачання поживних речовин.

Мета роботи – на основі аналізу змін екологічної структури діатомових угруповань у розрізах осадків прибережних акваторій північно-західного шельфу, що піддаються інтенсивному впливу річкових вод, простежити дію антропогенних факторів на седиментаційні обстановки в пізньому голоценові.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ
Прибережні акваторії мілководного шельфу північно-західної частини Чорного моря в межах територіальних вод і виключної економічної зони України мають тривалу історію досліджень у самих різних аспектах. За понад століття накопичено суттєвий обсяг знань про закономірності функціонування морського середовища, його живі і неживі компоненти. Особливості седиментації, палеогеографії та умови формування пізньочетвертинних осадків досліджуваних акваторій розглядалися в роботах М. Андрусова, О. Архангельського, В. Геворкьяна, П. Гожики, В. Ємельянова, Ю. Іноземцева, В. Мельника, О. Митропольського, Є. Невесського, С. Ольштинського, М. Семененка, М. Страхова, Н. Тюленєвої, В. Усенка, П. Федорова, Є. Шнюкова, Ф. Щербакова, В. Янко та ін. Зокрема, висвітлені в низці монографій та статтях (Митропольський і др., 1977; Геология..., 1982, 1985; Некоторые..., 1987; Тюленева, 2014).

Аналізу впливу антропогенних факторів на прибережні акваторії Чорного моря присвячені праці різної тематики. З огляду на наші дослідження, важливими є техногенні зміни гідрологічного балансу моря та його основних приток (Cociasu et al., 1996; Humborg et al., 1997; Шуйский, 2003; Шуйський, 2007; Симов, 2014; Хільчевський, Гребінь, 2022); зростання антропогенного навантаження як на природні обстановки Чорного моря (Омельчук и др., 1999), так і донні осадки річкових гирл (Малахов и др., 2010); розподіл і міграція важких металів (Митропольський и др., 1977; Некоторые..., 1987; Наседкін та ін., 2013); евтрофікація моря (Yunev et al., 2019); міграція біогенних елементів (Геворгіз и др., 2005; Mousing, 2015; Yunev et al., 2019). Значний обсяг

даних про зміни стану середовища Чорного моря зібрано під час здійснення проєктів міжнародної комісії Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (Комісія із захисту Чорного моря від забруднення) й опубліковано в серії звітів (BSC..., 2008, 2019).

У період технологічного розвитку, коли на перший план виходить оцінка впливу діяльності людини на природні процеси, досить швидким і надійним індикатором є відповідь біоти на антропогенний тиск. Одним з перспективних напрямів є вивчення комплексів живих і викопних діатомових водоростей через їхню чутливість і майже повсюдне поширення. У роботах Р. С. Vos та Н. De Wolf висвітлено досвід застосування екологічних груп у діатомових комплексах для реконструкції седиментаційних обстановок і екологічних умов раннього-середнього голоцену прибережних ділянок Північного моря (Vos, De Wolf, 1988, 1993, 1994). Такий підхід вже було використано нами для виявлення пізньоплейстоцен-голоценових природних трансформацій у межах мілководних заток північно-західного шельфу Чорного моря (Olshtynskaya, Tymchenko, 2014).

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Матеріалом для дослідження слугували зразки порід, відібрані з різних рівнів колонок донних осадків та кернів свердловин. Породи датовані голоценом і пізнім плейстоценом (новоевксинський час) за результатами літологічного опису. У межах мілководного шельфу досліджено чотири прибережні ділянки (рис. 1): у відкритій частині Одеської затоки в районі палеодолини Дніпра (1), поблизу коси Тендра (2) та в акваторіях з високим впливом річкових вод на обстановки седиментації біля Одеської банки (3) та Кілійської дельти Дунаю (4). Свердловини 321 та 316 (відкрита частина Одеської затоки) і св. 331 (район Тендрівської коси) пробурені ДРГП «Причорноморгеологія» у 2002–2005 рр. методом колонкового буріння, віброколони ст. 11 (Кілійська дельта Дунаю) і ст. 3 (район Одеської банки) відібрані під час рейсу НДС «Ілля Мечников» 1992 р. Зразки на діатомовий аналіз було взято з різних голоценових і пізньоплейстоценових (новоевксинський час) рівнів колонок.

Зразки осадків відбирали пошарово з усіх основних літологічних горизонтів. Лабораторну



Рис. 1. Схема розташування досліджуваних ділянок на північно-західному шельфі Чорного моря. Використано картографічну основу Чорного моря (www.comersis.com) та тематичну карту чорноморських країн (www.mappr.co).

Fig. 1. Location scheme of the study areas on the Black Sea northwestern shelf. There are used the Black Sea base map (www.comersis.com) and the thematic Black Sea countries map (www.mappr.co).

обробку на діатомовий аналіз здійснювали за стандартною методикою (Діатомовий..., 1949; Жузе, 1953). Дослідження діатомових та фотографування проводили у світловому мікроскопі Olimpus CX4 з використанням цифрової камери та у скануючому електронному мікроскопі JEOL NeoScan JSM-5000 (за сприяння офіційного представника в Україні фірми "TokioBoeki"). Оцінку тенденцій у вертикальних послідовностях діатомових угруповань досліджуваних колонок виконано на основі методики розрахунку співвідношень екологічних груп діатомових, розробленої для прибережних частин моря (Vos, De Wolf, 1988, 1993, 1994), яка дозволяє виділяти автохтонну й алохтонну складові комплексів. Для таксономічного визначення діатомових використано визначники і монографії (Діатомовые..., 1988; Witkowski et al., 2000; Діатомовые..., 2008; Kulikovskiy et al., 2016; Genkal et al., 2020; Bilous et al., 2021), а також глобальну спеціалізовану базу даних таксономії, номенклатури та поширення водоростей AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2023).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Північно-західний шельф Чорного моря має значну протяжність та малі глибини і характеризується поєднанням природних рис, які, за (Некоторые..., 1987), визначають велику динамічність і малу інерційність природних процесів седиментогенезу в його акваторії. Нами було проаналізовано ті основні природні й антропогенні фактори, які впливають на обстановки седиментації в межах мілководної частини північно-західного шельфу Чорного моря та визначають мінливі умови існування організмів, а саме: 1 — малі глибини, рівнинний рельєф дна і невеликий нахил широкого шельфу; 2 — значний обсяг постачання річками прісних вод і завислих наносів; 3 — суттєва зарегульованість стоку основних річкових приток басейну; 4 — висока біопродуктивність району; 5 — найвищий для Чорного моря рівень антропогенного навантаження. Значною мірою ці фактори пов'язані між собою, в той же час вплив кожного з них на формування екологічних обстановок та розвиток біоти неоднаковий.

Рівнинний характер рельєфу північно-західного шельфу обумовлений приуроченістю до платформних структур. Поверхня дна має нахил близько $0,001^\circ$ (Митропольский и др., 1977) і ширину 227 км (Геология..., 1982) при середній близько 150 км (Митропольский и др., 1977), а також переважні глибини до 50 м і максимальні не

більше 100 м (Геология..., 1982). Сформована в субаеральних умовах під час останнього зледеніння, поверхня шельфу нині є субмаринним продовженням Причорноморської западини з від'ємними неотектонічними рухами. За даними (Ломакин и др., 2016), темпи опускання берегів біля Одеси становлять 1,1 мм/рік, ближче до гирла Дунаю — до 2 мм/рік. У цілому, досліджувана акваторія належить до областей з помірним опусканням (Бондарев, 2012), що сприяє підвищеним темпам седиментації, особливо в межах розгалужених палеодолин затоплених річок та на пригирлових ділянках. Верхньоплейстоценові й голоценові осади в межах акваторії північно-західного шельфу характеризуються мозаїчністю літологічного складу та просторовими варіаціями швидкостей осадконакопичення. Особливості седиментації значною мірою визначаються надходженням річкового стоку. Акваторія приймає воду найбільших приток Чорного моря — Дніпра, Дунаю, Дністра, Південного Бугу, що дрениють площу понад 2 млн км². Річки постачають до північно-західної частини моря у великих обсягах як прісні поверхневі і підземні води, так і завислі наноси у складі теригенного уламкового і глинистого матеріалу, хімічних розчинів, колоїдів, а також органічну речовину, скелетні рештки організмів та живу біоту. Сумарний водний стік чотирьох найбільших річок перевищує 75–78% стоку з усього водозбірного басейну (Митропольский и др., 1977; Геология..., 1982) та оцінюється у 276,3 км³/рік (Хільчевський, Гребінь, 2022). Обсяг завислої речовини — близько 71–79 млн т/рік, що становить понад 50% зависі всіх чорноморських річок (Геология..., 1982; Некоторые..., 1987). Компоненти річкового стоку відіграють помітну роль у седиментогенезі прибережної зони: від 25–30 до 70% матеріалу в завислому стані осаджується у гирлах річок (Некоторые..., 1987; Мороз, Митропольский, 1988), значна частина транспортованих у море піщано-глинистих наносів відкладається вздовж берегової лінії (Митропольский и др., 1977). Природний річковий стік залежить насамперед від ряду кліматичних факторів і характеру живлення, що проявляється в річних і місячних коливаннях його величини (Симов, 2014). До 1955 р. величина річкового стоку в Чорне море була близькою до природної і визначалася лише кліматичною мінливістю, а безповоротні водозабори з річок були незначними; натомість нинішні середні втрати стоку Дніпра та Дунаю оцінюють у 13 км³/рік і більше

для кожного (Симов, 2014; BSC..., 2019). Таким чином, остаточне зарегулювання водного стоку основних приток каскадами ГЕС із водосховищами суттєво змінило гідрологічний баланс акваторії північно-західного шельфу (Симов, 2014).

Аналіз таксономічного складу діатомових із розрізів голоценових осаdkів досліджуваних ділянок показав, що вільне надходження вод відкритого моря встановилося наприкінці раннього голоцену (вітязівський час) після нетривалого періоду зменшення солоності та зниження рівня моря, що зафіксовано для колонок з акваторій палеоруслу Дніпра (ділянка 1) та Одеської банки (ділянка 3).

У цілому, діатомові комплекси ділянок 1 і 2 характеризують голоценові обстановки відкритої Одеської затоки, де антропогенний вплив відчувається менше. Характерною ознакою відкритоморських діатомових комплексів середнього і пізнього голоцену досліджуваних акваторій (рис. 2) є домінування алохтонного компонента — планктонних і тихопелагічних видів, характерних для морської літоралі, припливних заток і проток (Vos, De Wolf, 1988, 1993). Основу їх таксономічного складу становить вид *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., типовий представник літоральних вод із солоністю 15–17‰ та активною гідродинамікою. На частку скелетних елементів цього виду в досліджуваних комплексах припадає до 50–80%, іноді понад 90%. В акваторіях відкритої Одеської затоки поблизу палеодолини Дніпра (ділянка 1 на рис. 1) та коси Тендра (ділянка 2 на рис. 1) такі умови морської літоралі збереглися до останнього часу.

Склад діатомових комплексів середнього-пізнього голоцену названих акваторій свідчить про активні гідродинамічні умови. У планктоні, крім *P. sulcata*, присутні морські *Auliscus sculptus* (W. Sm.) Brightwell, *Coscinodiscus perforatus* Ehr., *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cl., *Th. gravida* Cl., *Amphitetras antediluviana* Ehr., *Actinocyclus octonarius* Ehr. та ін. Автохтонна складова представлена солонуватоводно-морським епіпеленом у комбінації з групами солонуватоводно-морських і морських епіфітів. Високі швидкості течій та низька освітленість дна створюють умови, несприятливі для бентосних і епіфітних біоценозів (Vos, De Wolf, 1988).

Серед епіпелону трапляються як види, що живуть на глинистих осаdkах, так і характерні для піщаних берегів. Вони є показником обстановок високоенергетичних, із сильною турбулентністю. Переважають *Diploneis smithii* (Bréb.) Cl., *D. ovalis* (Hilse) Cl., *D. chersonensis* (Grun.) Cl., *D. littoralis*

(Donkin) Cl., *D. subcincta* (A.S.) Cl., *D. bombus* (Ehr.) Ehr., *Lyrella hennedyi* (W. Smith) Stickle & D. G. Mann, *L. Lyra* (Ehr.) Karayeva, *Coronia echeneis* (Ehr. ex Kütz.) Ehr., *Coronia daemeliana* (Grun.) Ruck & Guiry, *Tryblionella punctata* W. Smith, *Amphora proteus* Greg. В епіфітоні: *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cl., *Hyalodiscus scoticus* (Kütz.) Grun., *Epithemia turgida* (Ehr.) Kütz., *Grammatophora marina* (Lyng.) Kütz., *G. serpentina* Ehr., *G. oceanica* Ehr., *Rhabdonema adriaticum* Kutz., *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère.

Переважає морський планктон у екологічній структурі комплексів при середній відносній чисельності солонуватоводно-морського епіпелону (15–40%) і низькій частці епіфітів (менше 5%) вказує (Vos, De Wolf, 1993, 1994), що формування середньо-пізньоголоценових комплексів Одеської затоки відбувалося в умовах мулистої чи глинистої прибережної рівнини. Збільшення відносної частки епіфітів прісноводних, морських і солонуватоводно-морських у діатомових комплексах з верхньоголоценових відкладів свідчить про зменшення турбулентності води і невеликі рівні припливів (Vos, De Wolf, 1988) у джеметинський час. Таксономічний склад джеметинських комплексів вказує на певне підсилення припливу прісних вод.

Послідовне будівництво каскаду ГЕС на Дніпрі розпочалося в 1927 р. (ДніпроГЕС) і завершилося до 1963–1975 рр. (Канівська ГЕС). Створення гідротехнічних споруд з 1960 р. на притоках Дунаю, а у 1971 і 1985 рр. дамб Iron Gate-I і Iron Gate-II викликало безповоротне вилучення значної кількості води. На початок XXI ст. скидання Дунаєм поживних речовин порівняно з 1960-ми роками збільшилося не менше ніж у 40 разів, а середнє винесення наносів за XX ст. зменшилося майже на 40% (Шуйський, 2007). Тепер Дніпро, Південний Буг, Дністер і Дунай виносять у море переважно тонкодисперсну складову зависі та розчинені речовини (Митропольский и др., 1977).

Створення штучних перешкод у вигляді дамб і водних резервуарів призвело до передбачуваних та непередбачених наслідків для прибережних акваторій північно-західного шельфу. Так, зміни природного режиму великих приток Чорного моря викликали перерозподіл стоку протягом року. Внаслідок штучного регулювання на початку XXI ст він став більш рівномірним із зменшенням у період весняно-літніх повеней на 7–10% і збільшенням у зимовий і межений літньо-осінній — на близько 11%. (Симов, 2014; BSC..., 2019). Такий

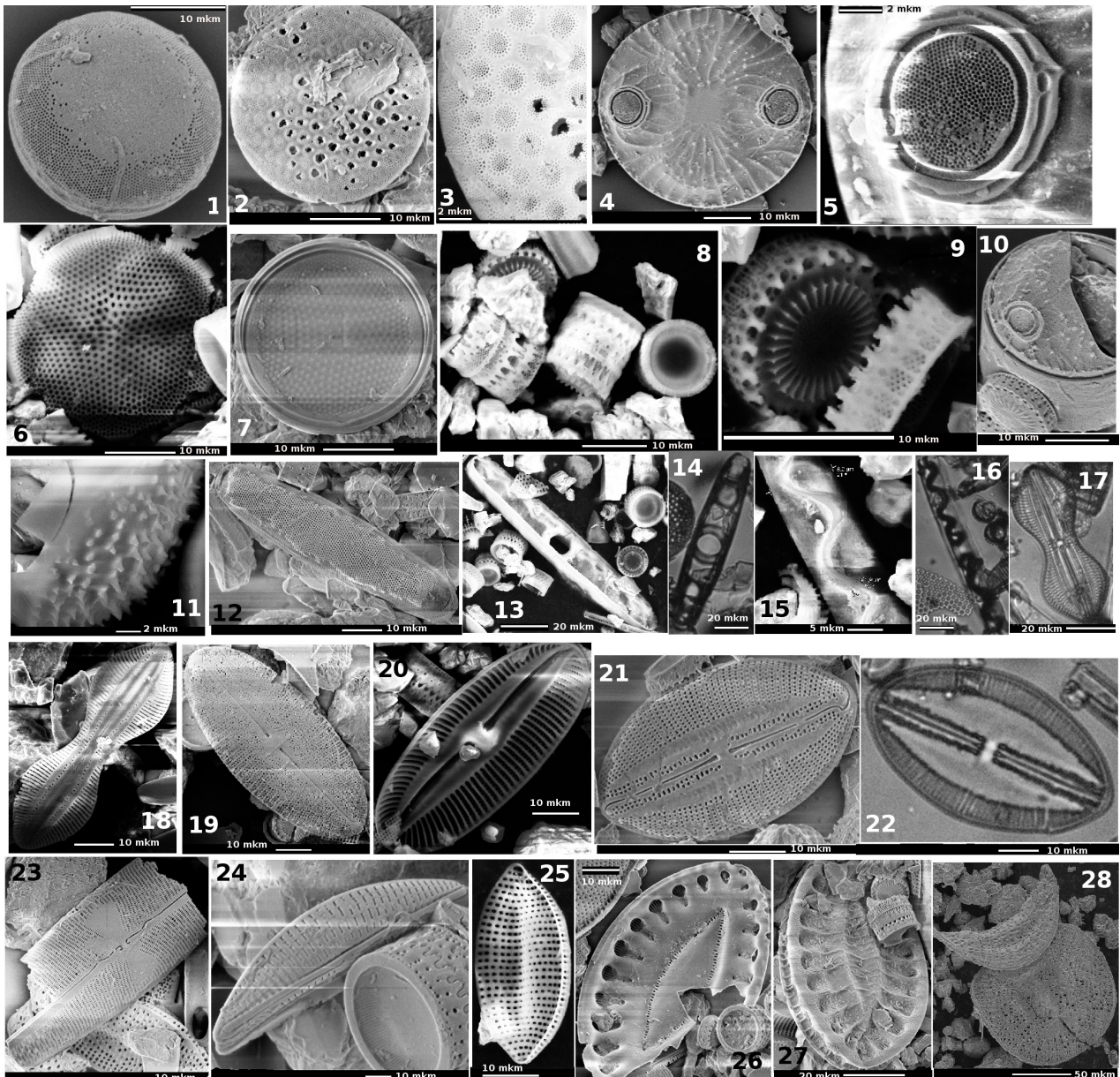


Рис. 2. Типові види голоценових діатомових комплексів акваторії Одеської затоки:

1 – *Hyalodiscus scoticus* (Kütz.) Grun., 2, 3 – *Coscinodiscus perforatus* Ehr., 4, 5, 10 – *Auliscus sculptus* (W. Sm.) Brightwell, 6, 7 – *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cl., 8, 9 – *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., 11 – *Chaetoceros* sp. (spore), 12 – *Grammatophora marina* (Lyng.) Kütz., 13, 14, 15, 16 – *G. serpentina* Ehr., 17, 18 – *Diploneis chersonensis*, 19, 20 – *D. smithii* (Bréb.) Cl., 21, 22 – *Lyrella hennedyi* (W. Smith) Stickle & D. G. Mann, 23 – *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cl., 24 – *Amphora proteus* Greg., 25 – *Tryblionella punctata* W. Smith, 26, 27 – *Campylodiscus neofastuosus* Ruck & Nakov, 28 – *Coronia echeneis* (Ehr. ex Kütz.) Ehr.

Fig. 2. Typical species of the Holocene diatom assemblages, the Gulf of Odesa water areas:

1 – *Hyalodiscus scoticus* (Kütz.) Grun., 2, 3 – *Coscinodiscus perforatus* Ehr., 4, 5, 10 – *Auliscus sculptus* (W. Sm.) Brightwell, 6, 7 – *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cl., 8, 9 – *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., 11 – *Chaetoceros* sp. (spore), 12 – *Grammatophora marina* (Lyng.) Kütz., 13–16 – *G. serpentina* Ehr., 17–18 – *Diploneis chersonensis*, 19–20 – *D. smithii* (Bréb.) Cl., 21, 22 – *Lyrella hennedyi* (W. Smith) Stickle & D. G. Mann, 23 – *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cl., 24 – *Amphora proteus* Greg., 25 – *Tryblionella punctata* W. Smith, 26–27 – *Campylodiscus neofastuosus* Ruck & Nakov, 28 – *Coronia echeneis* (Ehr. ex Kütz.) Ehr.

перерозподіл стоку міг сприяти прояву зафіксованих у другій половині ХХ ст. аномальних «цвітін» діатомових у зимово-ранньовесняний період (Yunev et al., 2019).

Іншим наслідком антропогенного впливу є швидкий розвиток фітопланктону («цвітіння») у воді великих водосховищ. У результаті збільшилося постачання з річковим стоком у басейн седиментації біогенних компонентів, а обсяг завислої речовини через осідання на дамбах суттєво зменшився. Під час «цвітіння» відмирання мікрководоростей у водосховищах сприяє більш інтенсивному переведенню біогенних речовин з води в донні осади (Yunev et al., 2019). Впродовж 1980–1990-х років часто спостерігалось надмірне інтенсивне «цвітіння» фітопланктону у північно-західній частині моря (BSC..., 2019).

Важливим наслідком дії названих факторів стала дуже висока для Чорного моря біопродуктивність вод північно-західного шельфу. Внаслідок значного розвитку біоти часом органічна складова зависі річкового стоку перевищує мінеральну (Некоторые..., 1987). У другій половині ХХ ст. через суттєве зростання біомаси фітопланктону в акваторії спостерігалось збільшення річної первинної біопродукції приблизно у 2,5 рази (Yunev et al., 2019). У прибережних водах найбільшим видовим різноманіттям характеризуються планктонні діатомові та дінофлагеляти (BSC..., 2019); причому з кінця ХХ ст. для північно-західного шельфу відмічають (Yunev et al., 2019) зменшення частки діатомових і збільшення дінофлагелят у фітопланктоні.

Надмірне постачання великої кількості органічної речовини річками та підвщена біологічна активність вод у 1980–1990-х роках призвели до підвищення евтрофікації акваторії (BSC..., 2008, 2019), стан екосистеми досі значно відрізняється від первинного (BSC..., 2019). Особливо евтрофними є прибережні та шельфові води. До пригирлових акваторій великих річок тяжіють максимальні значення вмісту неорганічних сполук кремнію, фосфору й азоту (Геворгиз и др., 2005). З річковим стоком у мілководні води шельфу виноситься значний обсяг поживних для біоти речовин, що сприяє евтрофікації північно-західної частини шельфу (Oguz, 2005; Mousing, 2015), особливо біля Дніпровсько-Бузького лиману та дельти Дунаю.

До складу основних поживних речовин належать кремній та його сполуки, які є складовою всіх (розчинених, завислих, біогенних) компонентів

річкового стоку. Саме річки є основним постачальником кремнію до Чорного моря: розподіл концентрацій кремнезему в поверхневих водах свідчить, що Дунай є основним його постачальником (BSC..., 2019). Вказують (BSC..., 2008, 2019; Mousing, 2015; Yunev et al., 2019 та ін.), що за другу половину ХХ ст. вміст кремнезему у воді та осадах Чорного моря зазнав істотних змін: наприкінці ХХ ст. на північно-західному шельфі Чорного моря зафіксовано суттєве зменшення концентрації силікатів та збільшення нітратів порівняно з 1960-ми роками (Yunev et al., 2019). Головною причиною істотного зменшення річного надходження сполук кремнію в море з 60-х до 90-х років ХХ ст. вважають (Yunev et al., 2019) саме будівництво численних дамб на Дунаї в 1970-х роках та осадження силікатів та інших біогенних речовин у водосховищах (Cociasu et al., 1996; Humborg et al., 1997; Yunev et al., 2019).

Як підтвердження, різке падіння концентрації силікатів і фосфатів у 1974–1975 рр. було виявлено при моніторингових дослідженнях поблизу м. Констанца, Румунія (Cociasu et al., 1996; Oguz, 2005; BSC..., 2008). До 1970-х років середньорічна, осереднена за глибиною, концентрація сполук кремнію у поверхневих водах мала значення до 40 μM , а після будівництва дамби Iron Gate-I вміст встановився на рівні близько 10–20 μM (BSC..., 2008, 2019). На цей же період припадає завершення формування каскаду водосховищ на Дніпрі. В акваторіях поблизу Дніпровського лиману концентрація силікатів зменшилася з близько 26 μM у 60-і роки ХХ ст. до майже 10 μM у середині 1980-х – кінці 1990-х рр., а у 2000-х роках дещо збільшилася до майже 15 μM (Yunev et al., 2019). Біля Дунаю для цих же періодів наводять (Yunev et al., 2019) значення близько 41 μM , 7 μM і 12 μM , відповідно.

Вважається, що зміни форми та характеру річкових русел внаслідок техногенного втручання є одним з найсильніших для Європи факторів антропогенного впливу на водні екосистеми (Zelnik et al., 2023). Сукупний вплив комплексу природних і антропогенних чинників призводить до формування найвищого для Чорного моря рівня антропогенного навантаження акваторії. Так, зміни гідрохімічного складу прибережних вод при дельті Дунаю призвели до суттєвих змін видового різноманіття та чисельності фітопланктону (Шуйський, 2007). Обсяги силікатів, що надходять у морське середовище, контролюють розвиток організмів з кременевою функцією, у тому числі

діатомових. Діатомові чутливі до всіх названих природних і антропогенних факторів седиментації в мілководній зоні північно-західного шельфу. Тому вертикальні зміни складу комплексів у осадах і латеральні відміни є доволі точним індикатором змін екологічних обстановок у часі. В умовах сучасного шельфу антропогенна дія проявляється на тлі голоценової трансгресії і пов'язана зі змінами гідрологічного балансу й обсягів прісної води та поживних речовин.

Аналіз розподілу діатомових на ділянках 3, 4 (рис. 3), наближених до гирл великих річок, що перебувають під значним впливом річкового стоку, показав помітний вплив антропогенних змін на формування діатомових комплексів.

Тут також трапляється типовий для літоралі комплекс з домінуванням *P. sulcata* (95%) і характерними видами епіпелону та епіфітів, але в поверхневому шарі осади він змінюється. Пошарове опробування відкладів колонки дозволяє приблизно оцінити вік утворення осаду. Для цього використано значення швидкостей осадконакопичення в різних акваторіях північно-західної та західної частин Чорного моря за даними радіовуглецевого аналізу, взяті з різних джерел (Митропольский и др., 1977; Шрейдер, 2008; Тюленева, 2014). Іноді навіть на сусідніх площах вони відрізняються досить суттєво. До того ж, у новочорноморський час швидкості осадконакопичення дещо уповільнилися зі зменшенням обсягу наносів (Тюленева, 2014), але проявляється компенсаційна дія внаслідок поступового опускання Причорноморської низовини (Ломакин и др., 2016).

На ділянці 3 у районі Одеської банки (рис. 3а), на північ від Одеси, на глибині 18 м розташована ст. 3. Довжина колонки сягає 2,8 м, осади представлені товщею глинистих мулів новочорноморського віку. Пелітовий мул верхнього інтервалу 0–0,26 м вирізняється більш темно-сірим, до чорного кольором, що свідчить про підвищення вмісту органічної речовини.

Типовий для відкритої літоралі комплекс з домінуванням *P. sulcata* (95%) і видами *Diploneis fusca* (W. Greg.) Cl., *Tryblionella granulata* (Grun.) D. G. Mann, *Coscinodiscus radiatus* Ehr., *L. Iyra* виявлений у зразку з інтервалу 0,6–0,65 м. Вище по розрізу видовий склад діатомових змінився різко. Інтервал 0,1–0,15 м містить комплекс із домінуванням прісноводних космополітів (рис. 4): планктонний *Stephanodiscus hantzschii* Grun. та епіфіт *Diatoma vulgare* Bory — індикатори евтрофікації та антропогенного забруднення (Genkal et al., 2020; Bilous et al., 2021).

За проведеними розрахунками, на основі даних про швидкості осадконакопичення (Митропольский и др., 1977; Тюленева, 2014), осадок нагромаджувався впродовж приблизно 50 років, тобто впродовж другої половини ХХ ст. За цей самий час відбулися суттєві зміни природного гідрологічного режиму Дніпра після будівництва та введення в експлуатацію всього каскаду ГЕС. Акваторія Одеської банки (див. рис. 3а) перебуває під сильним впливом стоків Дніпра і Південного Бугу через систему каналів Дніпровсько-Бузького лиману. До цієї акваторії донедавна виносила води розгалужена система зрошувальних каналів, які живилася головним чином водою найбільшого, Каховського, водосховища. У другій половині



Рис. 3. Схема розташування досліджуваних ділянок у пригірлових акваторіях. Картографічна основа EMODnet Map Viewer (<https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>):

а — Дніпра і Південного Бугу, ділянка 3; б — Кілійської дельти Дунаю, ділянка 4.

Fig. 3. Location of the study sites in the estuarine waters. Cartographic base EMODnet Map Viewer (<https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>):

a — Dniestro and Southern Bug, site 3; b — Chilia branch of the Danube Delta, site 4.

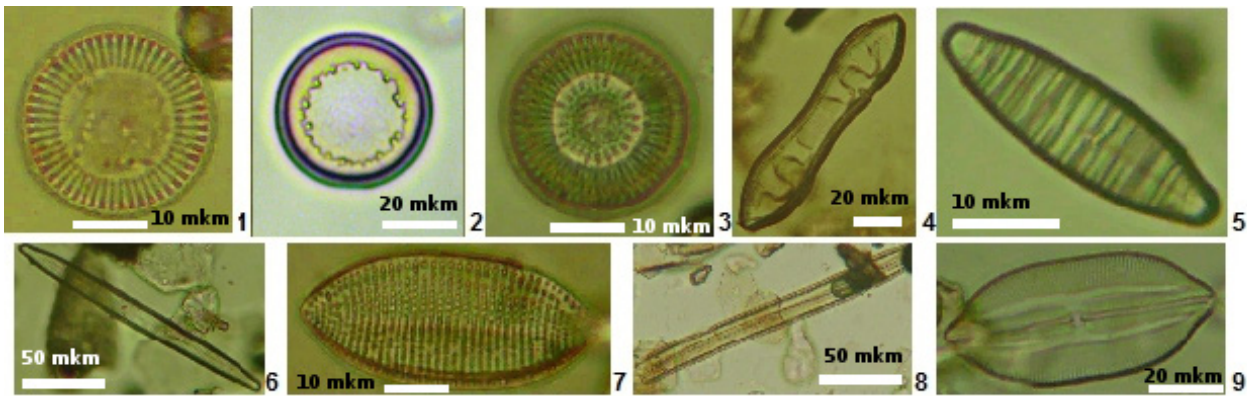


Рис. 4. Характерні види голоценових діатомових комплексів Одеської банки (1, 2, 4, 5) та Кілійської дельти Дунаю (3, 6, 7, 8, 9):

1 – *Cyclostephanos dubius* (Hust.) Round, 2 – *Hyalodiscus scoticus* (Kütz.) Grun., 3 – *Discostella stelligera* (Cl. & Grun.) Houk & Klee, 4 – *Surirella librile* (Ehr.) Ehr., 5 – *Diatoma vulgare* Bory, 6 – *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, 7 – *Tryblionella punctata* Bory, 8 – *Nitzschia sigma* (Kütz.) W. Smith, 9 – *Lyrella lyra* (Ehr.) Karayeva.

Fig. 4. Characteristic species of the Holocene diatom assemblages, the Odesa Bank (1, 2, 4, 5) and the the Chilia branch of the Danube Delta (3, 6, 7, 8, 9):

1 – *Cyclostephanos dubius* (Hust.) Round, 2 – *Hyalodiscus scoticus* (Kütz.) Grun., 3 – *Discostella stelligera* (Cl & Grun.) Houk & Klee, 4 – *Surirella librile* (Ehr.) Ehr., 5 – *Diatoma vulgare* Bory, 6 – *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, 7 – *Tryblionella punctata* Bory, 8 – *Nitzschia sigma* (Kütz.) W. Smith, 9 – *Lyrella lyra* (Ehr.) Karayeva.

XX ст. вони слугували потужним джерелом поживних речовин для північного заходу Чорного моря, що сприяло розвитку евтрофікації.

Досліджена ділянка 4 (див. рис. 3б) знаходиться в акваторії Кілійської дельти, найбільш молодій частини розгалуженого гирла р. Дунай. Колонка ст. 11 пробурена між Очаковським і Бистрим гирлами дельти, напроти м. Вилкове на глибині 13 м. Осадки потужністю 1,3 м представлені мулом пелітовим темно-сірим новочорноморського віку.

Діатомові комплекси з домінуванням морського планктонного *P. sulcata* (10–40%) виявлені в зразках з інтервалів 0,7–0,75; 0,5–0,52; 0,4–0,45; 0,2–0,22 м. Другою за чисельністю групою є солонуватоводно-прісноводні і прісноводні епіфіти, зокрема *U. ulna*, які на рівні 0,6–0,65 м домінують. За проведеними розрахунками із швидкостями осадконакопичення близько 1,2 м/1000 р., за (Шрейдер, 2008), осадки верхнього з цих інтервалів (0,2–0,22 м) формувалися на початку XIX ст., тобто в умовах природного режиму Дунаю, який, за (Шуйський, 2003), існував в акваторії Кілійської дельти до середини XIX ст.

Шар осадків інтервалу 0,1–0,12 м сформовано при слабко зміненому природному режимі (Шуйський, 2003), наприкінці XIX – на початку XX ст. Серед діатомових тут домінують морські і солонуватоводно-морські епіфіт *H. scoticus* та

представники епіпелону *D. smithii*, *D. fusca*, *T. aspera*, *L. hennedyi*. Зміни складу та екологічної структури комплексу є свідченням антропогенного втручання в природний гідрологічний режим річкової системи. У період 1880–1902 рр. і в 1930-х роках на Дунаї проводилися гідротехнічні роботи зі спрямлення Сулинського рукава (Шуйський, 2003; Шуйський, 2007), що призвело до перерозподілу стоку в дельті, позначилося на обводненні Кілійського рукава та складі діатомових комплексів.

Поверхневий шар осаду (інт. 0–0,05 м) містить комплекс діатомових з видами-індикаторами евтрофікації *Cyclostephanos dubius* (Hust.) Round, *S. hantzschii*. Домінують солонувато- і прісноводні планктон та епіфіти, серед яких *Tabularia fasciculata* (C. Agardh) D. M. Williams & Round, *D. vulgare*, види родів *Aulacoseira*, *Coscinodiscus*, *Thalassiosira*. У епіпелоні переважають солонуватоводно-морські види родів *Nitzschia*, *Caloneis*, *Diploneis*, *Tryblionella* (рис. 5). Є представники аерофілів солонувато- і прісноводних.

Проведені розрахунки показують, що поверхневий шар осаду (інт. 0–0,05 м) утворився в другій половині XX ст., коли на Дунаї було побудовано найбільші водосховища і його гідрологічний режим суттєво змінився. Внаслідок техногенних дій щодо водорегулювання впродовж другої поло-

вини ХХ ст. відбувалося зменшення заводнення Кілійського гирла (Шуйський, 2007). Оскільки Кілійська дельта та прилегле узмор'я зазнають впливу забруднених вод Дунаю через сільсько-господарські і промислові стоки та підвищений рівень евтрофікації, акваторія характеризується значним рівнем антропогенного навантаження. Природний режим вод існував на Дунаї майже до кінця ХІХ ст. Виявлені зміни в таксономічному складі діатомових комплексів поверхневого шару осадків чітко вказують на техногенні трансформації природних обстановок седиментації.

ВИСНОВКИ

Процеси седиментації та накопичення осадків у акваторії північно-західного шельфу Чорного моря дуже динамічні і залежать від ряду природних і антропогенних факторів: рівнинного рельєфу, малого нахилу дна, великого обсягу водного і твердого річкового стоку, значної зарегульованості найбільших водних приток, високої біопродуктивності району, а також високого рівня антропогенного навантаження.

Діатомеї, важливе джерело постачання в осадки органічних сполук та кремнезему, споживають для свого розвитку ряд нутрієнтів — поживних ре-

човин і залежать від середовища існування, тому є гарними індикаторами екологічних обстановок. До життєво важливих сполук належать силікати, основним джерелом надходження яких до Чорного моря є річки, тож діатомові чутливо реагують на зміни гідрологічного балансу. Вертикальні послідовні зміни складу діатомових комплексів дозволили нам простежити не тільки природні трансформації обстановок седиментації внаслідок голоценової трансгресії, а й відповідь біотопів на антропогенні зміни.

Проведені дослідження показують, що принаймні з другої половини ХХ ст. характер седиментації в межах мілководного шельфу дуже змінився, особливо в пригирлових акваторіях, наближених до Дніпра та Дунаю. Це стало одним із результатів інтенсивного антропогенного впливу, а в складі сучасних діатомових комплексів з'явилися (іноді домінують) види-індикатори евтрофікації та забруднення вод.

Роботу виконано в рамках науково-дослідної тематики Інституту геологічних наук Національної академії наук України «Еволюція седиментації і механізми формування донних осадків в окраїнних і епіконтинентальних акваторіях України в умовах мінливого навколишнього середовища».

REFERENCES

Bondarev, I. P., 2012. The main features and stages of forming the Black Sea ecosystem in the Late Pleistocene-Holocene. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*. No. 2 (28). Pp. 53–71. (In Russian).

Gevorgiz, N. S., Kryvenko, O. V., Kondratiev, S. I., 2005. Generalization of Long-Term Data of Chemical State in the Northwestern Part of the Black Sea during 1980–2002. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources*. Sevastopol. Vol. 12. Pp. 177–187. (In Russian).

Melnik, V. I., Mitin, L. I. (Eds), 1982. *Geology of the UkrSSR shelf: Environment. History and methodology of study*. Kyiv, Naukova Dumka. 180 p. (In Russian).

Melnik, V. I. (Ed.), 1985. *Geology of the UkrSSR shelf: Lithology*. Kyiv, Naukova Dumka. 192 p. (In Russian).

Krishtofovich, A. N. (Ed.), 1949. *Diatom analysis*. Vol. 1: General and paleobotanical characteristics of diatoms. Moscow, Leningrad, State publishing house of geological literature. 240 pp. (In Russian).

Strelnikova, N. I., Tsoy, I. B. (Eds.), 2008. *The Diatoms of the Russia and adjacent countries: Fossil and recent*. Vol. II, issue 5. St. Petersburg University press. 170 p. (In Russian).

Бондарев И. П. Основные черты и этапы формирования экосистемы Черного моря в позднем плейстоцене–голоцене. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2012. № 2 (28). С. 53–71.

Геворгиз Н. С., Кривенко О. В., Кондратьев С. И. Обобщение данных многолетних исследований содержания основных биогенных элементов в северо-западной части Черного моря за период 1980–2002 гг. *Екологічна безпека прибережної і шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. Севастополь, 2005. Вип. 12. С. 177–187.

Геология шельфа УССР. Среда. История и методика изучения / отв. ред. В. И. Мельник, Л. И. Митин. К.: Наук. думка, 1982. 180 с.

Геология шельфа УССР. Литология / отв. ред. В. И. Мельник. К.: Наук. думка, 1985. 192 с.

Диадомовый анализ. Книга 1: Общая и палеоботаническая характеристика диатомовых водорослей / Под ред. А. Н. Криштофовича. М.-Л.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1949. 240 с.

Диадомовые водоросли России и сопредельных стран. Ископаемые и современные. Том II, вып. 5. / Под ред. Н. И. Стрельниковой, И. Б. Цой. 2008. Спб: Изд-во Спб ун-та. 170 с.

- Makarova, I. V. (Ed.), 1988. The Diatoms of the USSR: Fossil and recent. Vol. II, fasc. 1. Leningrad, Nauka. Leningrad branch. 116 p. (In Russian).
- José, A. P., 1953. To the technique of technical processing of rocks for the purpose of diatom analysis. Diatom collection of papers. Leningrad. Pp. 206–220. (In Russian).
- Lomakin, I. E., Pokaliuk, V. V., Kochelab, V. V., 2016. Neotectonic activity and landslide processes in the coastal zone of the NW Black Sea. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*. Vol. 12, iss. 3. Pp. 95–99. (In Russian). <https://doi.org/10.15407/gpimo2016.03.095>
- Malakhov, I. N., Alekhina, T. N., Ivanchenko, V. V., Bobko, A. A., Zhuravel, N. R. The formation of bottom sediments in the mouth areas of the Dnieper-Bug estuary rivers under conditions of anthropogenic load. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*. 2010. No. 2 (20). Pp. 69–78. (In Russian).
- Mitropolsky, A. Yu., Olshtynsky, S. P., Usenko, V. P., 1977. Some features of the material composition of bottom sediments in the western part of the Black Sea. Kyiv. Institute of Geochemistry and Physics of Minerals, AS of the UkrSSR. 68 pp. (Preprint IGFM-77). (In Russian).
- Moroz, S. A., Mitropolsky, A. Yu., 1988. Model of marine silica accumulation. Kyiv. 37 p. (Institute of Geological Sciences, Preprint 88–36). (In Russian).
- Nasedkin, Ye. I., Mitropolskyi, O. Yu., Ivanova, G. M., 2013. Monitoring of sedimentation processes in the zone of land-sea interaction. Sevastopol. 295 p. (In Ukrainian).
- Mitropolsky, A. Yu. (Ed.), 1987. Some features of sedimentation in the northwestern part of the Black Sea. Kyiv. 55 pp. (Institute of Geological Sciences, Preprint 87–10). (In Russian).
- Omelchuk, A. V., Kovalev, S. B., Gevorkyan, V. Kh., Semenov, D. V., Ivanov, V. E., 1999. The influence of anthropogenic factors on the formation of bottom geoeological landscapes. *Geology and mineral resources of the Black Sea*. Pp. 247–251. (In Russian).
- Tyuleneva, N. V., 2014. Late-pleistocene – Holocene sediment accumulation in the Northwestern Black sea shelf. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*. Vol. 19, No. 4. Pp. 272–283. (In Russian). [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.4\(23\).39382](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.4(23).39382).
- Simov, V. G., 2014. River Runoff in the Black Sea. Scientific works of the Ukrainian scientific and research hydrometeorological institute [Naukovi pratsi Ukrayinskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorologichnoho instytutu]. Vol. 266. Pp. 62–69. (In Russian).
- Khilchevskyi, V. K., Grebin, V. V., 2022. Water objects of Ukraine and recreational assessment of water quality. Kyiv: DIA. 240 p. (In Ukrainian).
- Shreider, A. A., 2008. Formation of the deep-sea basin of the Black Sea. Abstract of the candidate's thesis (Geol.-Min. Sci.). Moscow. (In Russian).
- Shuisky, Y. D., 2003. Hydro-morphological characteristics of evolution of contemporary Kiliya delta of Danube river. *Odesa National University Herald*. Vol. 8, No.11. Pp. 4–17. (In Russian).
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Том II, вып. 1. Л.: Наука, 1988. 116 с.
- Жузе А. П. К методике технической обработки горных пород в целях диатомового анализа. Диатомовый сборник: статьи. Л., 1953. С. 206–220.
- Ломакин И. Э., Покалюк В. В., Кочелаб В. В. Неотектоническая активность и оползневые процессы в береговой зоне Северо-Западного Причерноморья. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2016. Т. 12, № 3(45). С. 95–99. <https://doi.org/10.15407/gpimo2016.03.095>
- Малахов И. Н., Алехина Т. Н., Иванченко В. В., Бобко А. А., Журавель Н. Р. Условия формирования донных осадков устьевых участков рек Днепровско-Бугского лимана в условиях антропогенной нагрузки. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 2 (20). С. 69–78.
- Митропольский А. Ю., Ольштынський С. П., Усенко В. П. Некоторые особенности вещественного состава донных осадков западной части Черного моря. Киев: Изд. ИГФМ АН УССР, 1977. 68 с. (Препринт ИГФМ-77).
- Мороз С. А., Митропольський А. Ю. Модель морського кремнезбору. Київ, 1988. 37 с. (Препринт/ АН УССР, Ін-т геологічних наук; 88–36).
- Наседкін Є. І., Митропольський О. Ю., Іванова Г. М. Моніторинг седиментаційних процесів у зоні взаємодії суходолу та моря. Севастополь, 2013. 295 с.
- Некоторые особенности осадконакопления в северо-западной части Черного моря / Кол-в авторов; отв. ред. А. Ю. Митропольский. Киев, 1987. 55 с. (Препринт/ Ин-т геологических наук; 87–10).
- Омельчук А. В., Ковалев С. Б., Геворкьян В. Х., Семенов Д. В., Иванов В. Е. Влияние антропогенных факторов на формирование донных геоэкологических ландшафтов. Геология и полезные ископаемые Черного моря. Киев, 1999. С. 247–251.
- Тюленева Н. В. Позднеплейстоцен-голоценовое осадконакопление на северо-западном шельфе Черного моря. Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2014. Т. 19, вип. 4. С. 272–283. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.4\(23\).39382](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.4(23).39382).
- Симов В. Г. Речной сток воды в Черное море. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. 2014. Вып. 266. С. 62–69.
- Хільчевський В. К., Гребін В. В. Водні об'єкти України та рекреаційне оцінювання якості води. К.: ДІА, 2022. 240 с.
- Шрейдер А. А. Формирование глубоководной котловины Черного моря: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.01. Москва, 2008.
- Шуйский Ю. Д. Гидролого-морфологические черты формирования современной килийской дельты Дуная. Вісник ОНУ. 2003. Т. 8, вип. 11. С. 4–17.

- Shuiskyi, Yu. D., 2007. Natural and artificial factors of influence on the Danube delta system. *Geopolitics and eco-geodynamics of regions [Геополітика і екогеодинаміка регіонів]*. Vol. 2. Pp. 76–80. (In Ukrainian).
- Bilous, O. P., Genkal, S. I., Zimmermann, J., Kusber, W.-H., Jahn, R., 2021. Centric diatom diversity in the lower part of the Southern Bug river (Ukraine): the transitional zone at Mykolaiv city. *PhytoKeys*. Vol. 178. Pp. 31–69. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.3897/phytokeys.178.64426>.
- Cociasu, A., Dorogan, L., Humborg, C., Popa, L., 1996. Long-term ecological changes in Romanian coastal waters of the Black Sea. *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 32, iss.1. Pp. 32–38. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00106-W](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00106-W)
- Genkal, S. I., Kulikovskiy, M. S., Kuznetsova, I. V., 2020. The recent freshwater centric diatoms of Russia. Yaroslavl, Filigran, 433 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/348352056_The_recent_freshwater_sentric_diatoms_of_Russia (In Russian).
- Guiry, M. D., Guiry, G. M., 2021. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org>.
- Humborg, C., Ittekkot, V., Cociasu, A., von Bodungen, B., 1997. Effect of Danube river dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*. Vol. 386. Pp. 385–388. <https://doi.org/10.1038/386385a0>.
- Kulikovskiy, M. S., Glushchenko, A. M., Genkal, S. I., Kuznetsova, I. V., 2016. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl, Filigran. 804 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/328631177_Identification_book_of_diatoms_from_Russia (In Russian).
- Mousing, E. A., Adjou, M., Ellegaard, M., 2015. Evidence of intensified biogenic silica recycling in the Black Sea after 1970. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 164. Pp. 335–339. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.07.031>
- Oguz, T., 2005. Long-Term Impacts of Anthropogenic Forcing on the Black Sea Ecosystem. *Oceanography*. Vol. 18, No. 2. Pp. 112–121. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.46>
- Olshtynskaya A. P., Tymchenko Yu. A., 2014. Fossil Holocene Diatoms of the Karkinit Bay, the Black Sea, Ukraine. *International Journal on Algae*. Vol. 6, No. 2. Pp. 193–206. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v16.i2.90>
- BSC, 2008. State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7). Ed. by Temel Oguz. Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2008–3, Istanbul, Turkey, 448 p. URL: http://www.blacksea-commission.org/_publ-soe2009.asp#_Toc226518004.
- BSC, 2019. State of the Environment of the Black Sea (2009–2014/5). Ed. by Anatoly Krutov. Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2019, Istanbul, Turkey, 811 p. URL: <http://www.blacksea-commission.org/Inf.%20and%20Resources/Publications/SOE2014/>.
- Vos, P. C., De Wolf, H., 1988. Methodological aspects of paleoecological diatom research in coastal areas of the Netherlands. *Geol. Mijnbouw*. Vol. 67. Pp. 31–40.
- Шуйський Ю. Д. Природні та штучні фактори впливу на дельтову систему Дунаю. *Геополітика і екогеодинаміка регіонів*. 2007. Вып.2. С. 76–80.
- Bilous O. P., Genkal S. I., Zimmermann J., Kusber W.-H., Jahn R. Centric diatom diversity in the lower part of the Southern Bug river (Ukraine): the transitional zone at Mykolaiv city. *PhytoKeys*. 2021. Vol. 178, P. 31–69. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.178.64426>.
- Cociasu, A., Dorogan, L., Humborg, C., Popa, L. Long-term ecological changes in Romanian coastal waters of the Black Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 1996. Vol. 32, I.1. P. 32–38. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00106-W](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00106-W)
- Genkal S. I., Kulikovskiy M. S., Kuznetsova I. V. The recent freshwater centric diatoms of Russia. Yaroslavl: Filigran, 2020. 433 p URL: https://www.researchgate.net/publication/348352056_The_recent_freshwater_sentric_diatoms_of_Russia.
- Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, 2023. National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org>
- Humborg C., Ittekkot V., Cociasu A., von Bodungen B. Effect of Danube river dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature*. 1997. Vol. 386, P. 385–388. <https://doi.org/10.1038/386385a0>.
- Kulikovskiy M. S., Glushchenko A. M., Genkal S. I., Kuznetsova I. V. Identification book of diatoms from Russia. Yaroslavl: Filigran, 2016. 804 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/328631177_Identification_book_of_diatoms_from_Russia.
- Mousing E. A., Adjou M., Ellegaard M. Evidence of intensified biogenic silica recycling in the Black Sea after 1970. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015. Vol. 164. P. 335–339. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.07.031>.
- Oguz T. Long-Term Impacts of Anthropogenic Forcing on the Black Sea Ecosystem. *Oceanography*. 2005. Vol.18, No.2. P. 112–121. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.46>
- Olshtynskaya A. P., Tymchenko Yu. A. Fossil Holocene Diatoms of the Karkinit Bay, the Black Sea, Ukraine. *International Journal on Algae*. 2014. Vol.6, No.2. P. 193–206. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v16.i2.90>
- State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7) / Ed. by Temel Oguz. Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2008–3. Istanbul, Turkey, 2008. 448 p. URL: http://www.blacksea-commission.org/_publ-soe2009.asp#_Toc226518004.
- State of the Environment of the Black Sea (2009–2014/5) / Ed. by Anatoly Krutov. Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2019. Istanbul, Turkey, 2019. 811 p. URL: <http://www.blacksea-commission.org/Inf.%20and%20Resources/Publications/SOE2014/>.
- Vos P. C., De Wolf H. Methodological aspects of paleoecological diatom research in coastal areas of the Netherlands. *Geol. Mijnbouw*. 1988. Vol. 67. P. 31–40.

Vos, P. C., De Wolf, H., 1993. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia*. Vol. 296/270. Pp. 285–296. <https://doi.org/10.1007/BF00028027>

Vos, P. C., De Wolf, H., 1994. Palaeoenvironmental research on diatoms in Early and Middle Holocene deposits in Central North Holland (The Netherlands). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*. Vol. 28 (1). Pp. 97–115. <https://doi.org/10.1007/BF02334250>

Witkowski, A., Lange-Bertalot, H., Metzeltin, D., 2000. Diatom flora of marine coasts I. In: *Iconographia diatomologica*. Vol. 7. Lange-Bertalot, H. (ed.). Ruggell, Liechtenstein, A.R.G. Gantner Verlag K. G. 925 p.

Yunev, O. A., Konovalov, S. K., Velikova, V., 2019. Anthropogenic eutrophication in the Black Sea pelagic zone: long-term trends, mechanisms, consequences. (In Russian). <https://doi:10.34756/GEOS.2019.16.37827>. URL: <https://core.ac.uk/reader/304111950>.

Zelnik I., Germ M., Golob A., Krivograd Klemenčič A., 2023. Differences in Phytobenthic Diatom Community between Natural and Channelized River Sections. *Plants*. Vol. 12. P. 2191. <https://doi.org/10.3390/plants12112191>.

Vos P. C., De Wolf H. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia*. 1993. Vol. 296/270. P. 285–296. <https://doi.org/10.1007/BF00028027>

Vos P. C., De Wolf H. Palaeoenvironmental research on diatoms in Early and Middle Holocene deposits in Central North Holland (The Netherlands). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*. 1994. Vol. 28(1). P. 97–115. <https://doi.org/10.1007/BF02334250>

Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coasts I. *Iconographia diatomologica*. Vol. 7 / Lange-Bertalot, H. (ed.). Ruggell, Liechtenstein: A.R.G. Gantner Verlag K. G., 2000. 925 p.

Yunev O. A., Konovalov S. K., Velikova V. Anthropogenic eutrophication in the Black Sea pelagic zone: long-term trends, mechanisms, consequences. 2019. <https://doi:10.34756/GEOS.2019.16.37827>. URL: <https://core.ac.uk/reader/304111950>.

Zelnik I., Germ M., Golob A., Krivograd Klemenčič A. Differences in Phytobenthic Diatom Community between Natural and Channelized River Sections. *Plants*. 2023. Vol. 12. P. 2191. <https://doi.org/10.3390/plants12112191>.

Manuscript received April 10, 2023;
revision accepted June 2, 2023.

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна