

**В.А. Емельянов**<sup>1</sup>, **С.Н. Довбыш**<sup>2</sup>,  
**Е.И. Наседкин**<sup>2</sup>, **К.К. Цымбалюк**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ГНУ «Центр проблем морской геологии, геоэкологии и осадочного рудообразования НАН Украины», Киев

<sup>2</sup> Институт геологических наук Национальной академии наук Украины, Киев

<sup>3</sup> ТОО Инспекторат Украина, Одесса

## **ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ГЕОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА ЧЕРНОГО МОРЯ**

---

*Представлены результаты исследований распределения некоторых тяжелых металлов на отдельных участках геолого-экологической системы донных отложений континентального склона Черного моря. Выяснено, что средние концентрации микроэлементов в геолого-экологической системе донных осадков континентального склона на границе с акваэкосистемой значительно ниже аналогичных показателей для поверхностного слоя геолого-экологической системы донных отложений шельфа. Распределение максимальных концентраций никеля, кадмия и ртути в массиве осадков еще раз подтвердило ведущую роль органического вещества в накоплении тяжелых металлов в ходе природных седиментационных процессов.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, геолого-экологическая система, донные отложения, континентальный склон, Черное море.

### **Вступление**

Актуальность изучения особенностей геоэкологической системы северной части континентального склона Черного моря определяется рядом объективных причин, включающих как теоретические, так и прикладные аспекты. Геолого-экологическая система донных отложений являясь, по сути, подсистемой n-го порядка геоэкологической системы бассейна, представляет собой не только пространство накопления осадочного вещества, но и транзитный участок между двумя крупными геоэкологическими подсистемами бассейна Черного моря — шельфа и глубоководной впадины. Каждая колонка, содержащая образец геологической среды указанной подсистемы и полученная в ходе пробоотбора на различных участках дна — новый фактический материал для изучения и обеспечения проведения многих направлений исследований. Их

© В.А. ЕМЕЛЬЯНОВ, С.Н. ДОВБЫШ, Е.И. НАСЕДКИН, К.К. ЦЫМБАЛЮК, 2018

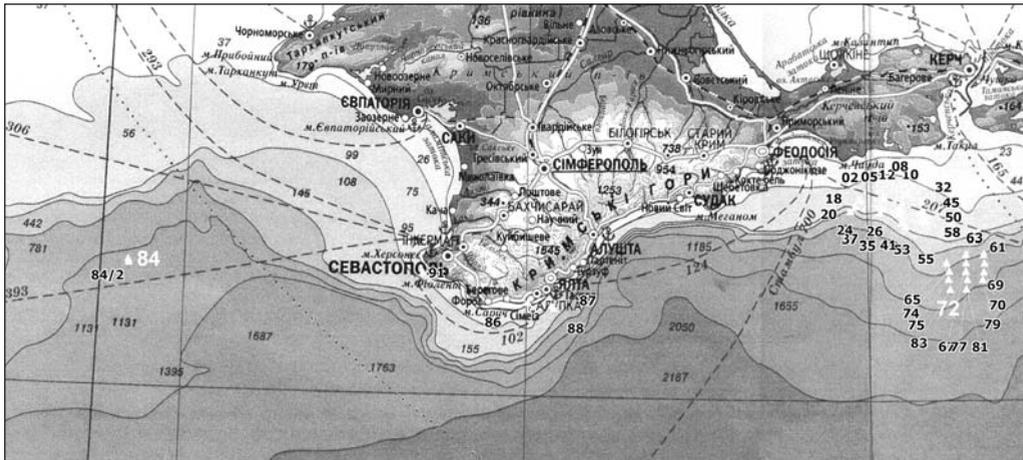


Рис. 1. Схема расположения геозекологических полигонов и станций № 72, 84 (75-й рейс НИС «Профессор Водяницкий», 2013)

главная цель — получение наиболее точной информации для последующего анализа, обобщения и, наконец, выявления особенностей условий формирования указанной подсистемы и ее составляющих (материальной, процессуальной и функциональной). К сожалению, сегодня многие важные решения по освоению ресурсов (минеральных, биологических, рекреационных, лечебных и др.) морских геосистем, в частности, их геолого-экологической составляющей, принимаются без должного понимания того, о чем говорилось выше.

В соответствии с планом реализации заданий целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Комплексная оценка состояния и прогнозирование динамики морской среды и ресурсов Азово-Черноморского бассейна» в ходе экспедиционных работ 75-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в июле 2013 года был проведен отбор образцов геологической среды донной геолого-экологической системы континентального склона Черноморской котловины в пределах двух его участков (рис. 1).

Выбор участков определялся приуроченностью, в основном, к разным геозекологическим областям и районам развития геолого-экологической подсистемы континентального склона Черного моря, что предопределило различие выбранных участков по особенностям геоморфологического строения, источников и путей поступления твердой составляющей геологической среды, формирующихся на них геолого-экологических систем.

Среди основных задач дальнейших лабораторных и аналитических исследований было изучение размерности и вещественного состава твердой составляющей геологической среды и ее возраста, а также распределения концентраций ряда тяжелых металлов (ТМ) по вертикальному разрезу геолого-экологического массива по данным изученных образцов из соответствующих колонок.

## Материалы и методы

Во время 75-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» отбор проб геологической среды донной геолого-экологической системы с глубин моря до 1000 метров проводился сотрудниками Института геологических наук НАН Укра-

ины с помощью ударных прямоточных трубок. Колонки геологической среды были подняты на геолого-экологическом участке континентального склона в соответствующем районе аккумулятивно-эрозионного каньона реки палео-Каланчак (пра-Днепра) Западнечерноморской области (станция 84, глубина 825 м) и на пологом участке Прикерченского эрозионно-аккумулятивного района Керченско-Таманской геоэкологической области (ст. 72, глубина 605 м) [1, 2].

Дальнейшие лабораторные исследования отобранных образцов были проведены в соответствии с существующими методическими рекомендациями порядка и правил таких работ. В частности, определение элементного состава образцов геологической среды было осуществлено в соответствии с М-МВИ-80-2008 «Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии». Содержание металлов в пробах было измерено с помощью атомно-абсорбционного метода на ААС-спектрометре Shimadzu AA-7000. Для анализа использовали реактивы фирмы «MERCK KGaA» высшей степени очистки.

Для детального анализа гранулометрического состава твердой составляющей образцов был использован лазерный седиментограф Mastersizer-2000 с модулем жидкостной дисперсии Hydro S (Malvern Instruments, Великобритания) лаборатории физических методов исследований Института геологических наук НАН Украины.

## **Обсуждение и результаты**

Как отмечалось выше, отдельные области, районы и сектора геолого-экологической системы континентального склона Черного моря значительно отличаются по истории геологического развития и, соответственно, геоэкологическими условиями, в частности по особенностям геоморфологического строения границы между твердой и жидкой подсистемами черноморской геосистемы.

В частности, существуют крутые, глубоко расчлененные долинами участки, а также участки, характеризующиеся спокойными сглаженными формами рельефа с малым общим наклоном поверхности. Одной из важных особенностей рельефа указанной границы в некоторых районах континентального склона может быть наличие подводных каньонов и долин, берущих свое начало в периферической зоне шельфа или в верхней части континентального склона. Твердая составляющая геологической среды геолого-экологических подсистем подводных каньонов, сложена, в основном, турбидитовыми образованиями и (или) другим материалом, связанным с подводными склоновыми процессами как составляющей общебассейнового процесса формирования геолого-экологической системы донных отложений.

Различные геоэкологические условия рассматриваемых участков континентального склона Черного моря обуславливают различия в интенсивности процессов формирования различных вещественно-генетических типов геолого-экологических систем. Это, среди прочего, определяет различия химического, микроэлементного состава, физико-механических, физико-химических, биологических свойств и других показателей, характеризующих экологическое состояние геологической среды рассматриваемых геолого-экологических подсистем, позволяющих оценивать их функционирование, устойчивость и сопротивляемость.

Первичное описание разреза геологической среды по данным геоэкологической колонки, поднятой на станции 72, засвидетельствовало наличие ряда особенностей в ее структуре, в типах геолого-экологических субсистем донных отложений и строении участка исследований в целом.

Следует отметить, что верхнечетвертичный осадочный чехол, согласно принятой стратиграфической схеме [3—5], расчленен на верхнеплейстоценовые (новоэвксинские) и голоценовые (древнечерноморские и новочерноморские) слои, которые также расчленяются на ряд подгоризонтов или пачек. Причем каждый из выделенных таксонов должен рассматриваться как геолого-экологическая субсистема  $n$ -го порядка.

При глубине моря 605 м средство отбора образцов геологической среды геолого-экологической системы донных отложений обеспечило получение колонки 160 см. Геологическая среда в нижней части колонки (160—100 см) представлена илом пелитово-алевритовым, пластичным, однородным, с примазками гидротроилита, содержание которого увеличивалось к подошве слоя. Тонкая слоистость в пределах массива (прослой серого ила до 1 мм) свидетельствовала о частых изменениях обстановки формирования данной геолого-экологической субсистемы в этот период, соответствующий, вероятно, в историческом плане, интервалу ее формирования в древнечерноморское время (~10 тыс. лет) и соответствующему подгоризонту.

Геологическая среда залегающей выше субсистемы (интервал колонки 100—32 см) представлен сапропелем и сапропелевидным илом с примазками гидротроилита. Эта богатая органической составляющей субсистема имеет характерный желтовато-коричневый цвет, который четко выделялся в разрезе, при этом ее нижняя более четкая граница отделяет, вероятно, каламитский слой черноморского подгоризонта (~5—3 тыс. лет). Как известно [5, 6 и др.], сапропелевые образования представлены темно-зелеными или темно-коричневыми с сероватым оттенком глинистыми слоистыми илами с заметной примесью очень тонкодисперсного органического вещества (ОВ).

Верхняя часть колонки (32—0 см) представлена серым однородным пелитовым илом с четкой нижней границей. Описываемый интервал, с большой долей вероятности, соответствует джеметинскому слою верхнечерноморского горизонта (~3—0 тыс. лет).

Участок геолого-экологической субсистемы континентального склона, где была отобрана колонка на станции 84 (гл. 825 м), характеризуется сложным геоморфологическим строением, выраженном в широко развитых здесь палеорусллах рек, подводных эрозионных долинах и каньонах. Длина отобранной здесь колонки составила 170 см. Низ разреза (170—77 см) массива геолого-экологической системы представлен илом серым пелитово-алевритовым, карбонатным, пластичным, с горизонтальными прослойками гидротроилита, частота и темный оттенок которых увеличивались к подошве. По присутствующим в составе данного интервала массива диатомовым водорослям и силикофлагеллятам он имеет древнечерноморский возраст. Средний интервал (77—30 см) массива представлен сапропелем и сапропелевидным илом с примазками гидротроилита, с четкой нижней границей интервала (как по цвету, так и изменению физико-механических свойств, в частности, упругости). По возрасту данный интервал, вероятнее всего, можно отнести к каламитским слоям верхнечерноморского подгоризонта.

Верхняя часть массива (интервал 30—0 см) представлена кокколитовым пелитовым илом разной консистенции и слоистости, а в геохронологическом плане — соответствует джеметинским слоям верхнечерноморского горизонта.

Особенности распределения литологических разностей свидетельствуют, что в пределах обоих исследуемых участков геолого-экологической системы континентального склона в голоценовое время формировался массив осадков, имеющий ненарушенную горизонтально-слоистую текстуру.

Несущественные различия в позднечетвертичное время геоэкологических условий, в частности литодинамических процессов, в пределах каждого из рассматриваемых участков геолого-экологической системы континентального склона, определили разницу в строении осадочного массива, в том числе в мощности отдельных слоев и текстуре отложений. Активная склоновая литодинамика (турбидиты и оползни), присущая верхнеплейстоценовым отложениям на этих участках, судя по полученным данным, никак не влияла на формирование геолого-экологической системы в более поздние времена. Как известно, гидродинамическая активность над краем шельфа, резко ослабела уже в голоцене [7] вследствие смещения берега далеко в сторону суши в результате послеледниковой трансгрессии.

Относительно экологического состояния геолого-экологической субсистемы донных осадков и степени измененности ее хозяйственной деятельностью человека, необходимо отметить, что, в сравнении с другими участками геолого-экологической системы Черного моря, она, практически, не подвержена антропогенному влиянию. Это во многом обусловлено удаленностью от устьев крупных рек, участков на побережье с развитой промышленной, сельскохозяйственной инфраструктурой, портовых комплексов и прочих источников загрязнений.

При этом не теряет актуальности вопрос возможного загрязнения геологической среды различных геолого-экологических субсистем континентального склона, в частности, увеличения локальных концентраций в ней тяжелых металлов, особенно на границе с акваэкосистемой, и их диффузии в нее как в ходе склоновых гравитационных, так и в ходе других природных и (или) антропогенных процессов (субмаринная разгрузка загрязненных подземных вод).

Как отмечалось выше, например, в пределах подводных каньонов происходит перенос масс донных отложений, включая их перемешивание и частичный перевод во взвешенное состояние с образованием турбидитов и других осадочных образований, связанных со склоновыми геологическими процессами. Это определяет целесообразность исследований содержания тяжелых металлов по различным интервалам вертикальных колонок геолого-экологической системы донных отложений, и позволяет спрогнозировать возможные изменения концентраций ряда микроэлементов в ее верхнем слое, на границе со смежной акваэкосистемой, при нарушении структуры осадочного массива в результате его избыточного обводнения и (или) перемещения.

Всесторонний анализ отобранного природного материала, проведенный в ИГН НАН Украины, дал ряд новых результатов относительно распределения микроэлементов в геологической среде геолого-экологической системы донных осадков, их связи с литологическими компонентами и, естественно, с типами геолого-экологических субсистем донных отложений.

В целом, абсолютные показатели концентраций тяжелых металлов во всех пробах выбранных интервалов существенно ниже (для ряда элементов на поря-

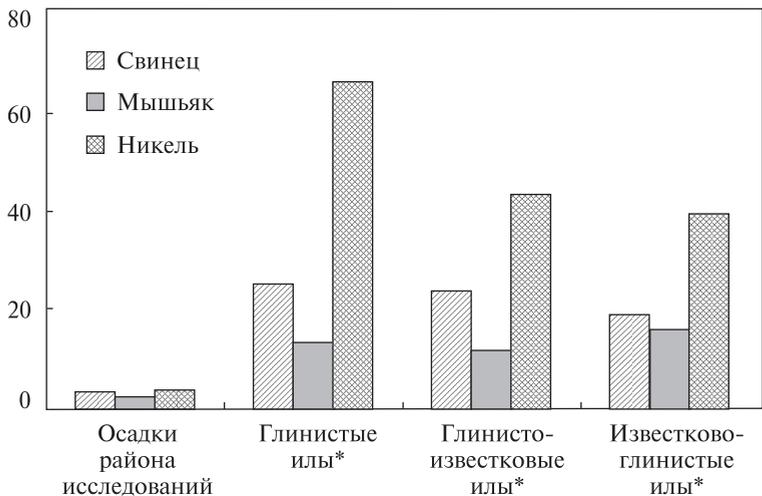


Рис. 2. Сравнительные графики концентраций (мг/кг) тяжелых металлов в веществе отобранных проб (первый ряд графиков, осредненные данные для всего вертикального интервала колонок) и поверхностных осадков шельфа (\*) [6].

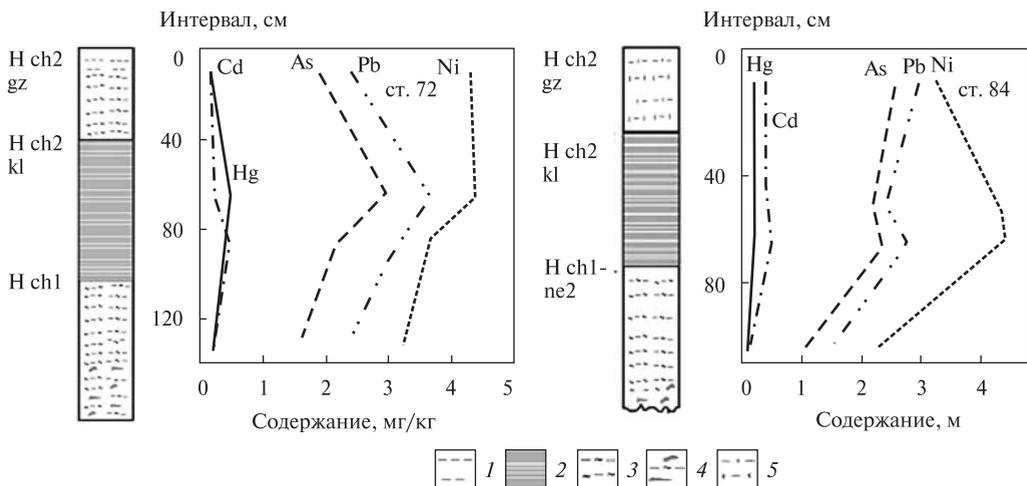
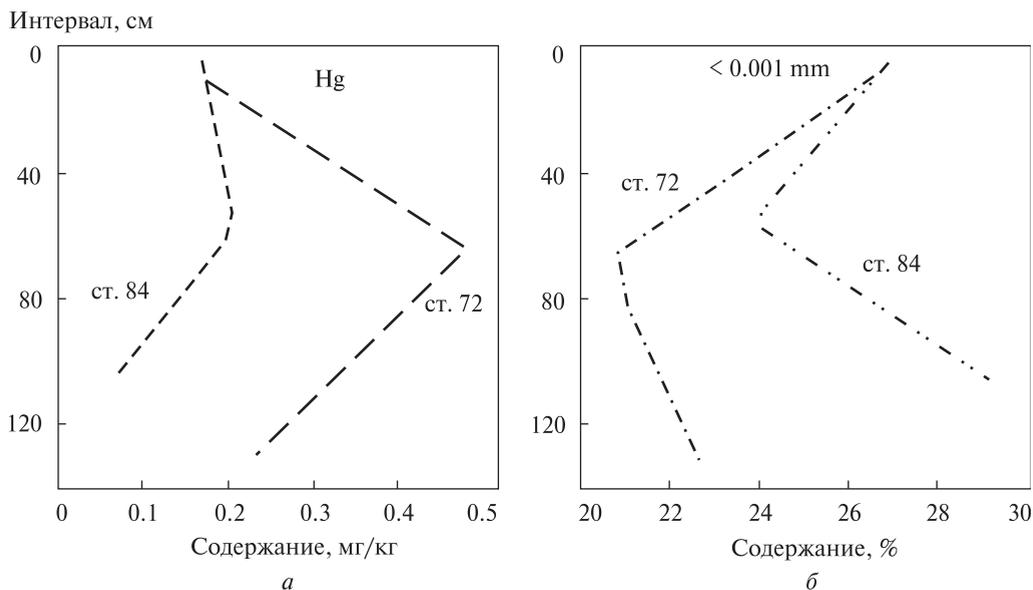


Рис. 3. Вертикальное распределение концентраций ряда микроэлементов (мг/кг) в разрезе массива геолого-экологической системы донных отложений по образцам различного состава и свойств, отобранным на станциях №72, 84 (75 рейс НИС «Профессор Водяницкий», 2013) с привязкой к стратиграфической шкале: 1 — илы биогенно-терригенные; 2 — ил сапропелевый, сапропелеподобный; 3 — ил глинистый; 4 — ил глинистый, гидротроилитовый; 5 — ил кокколитоидный. H ch2 — новочерноморский подгоризонт, H ch1 — древнечерноморский, H ch2 kl — каламитские слои верхнечерноморского подгоризонта, H ch2 gz — джеметинские, ne<sub>2</sub> — верхненовоэвксинские

док) фоновых по району исследований, о чем свидетельствует приведенный график (рис 2).

Информативны также данные о распределении по вертикальному разрезу колонок концентраций тяжелых металлов в массиве геолого-экологической системы. Изменения содержания таких микроэлементов, как мышьяк, свинец и никель по длине колонки, в первую очередь, свидетельствуют о различных источ-



**Рис. 4.** Графики распределения концентраций ртути в разрезе массива геолого-экологической системы донных отложений: *а* — в образцах, отобранных из различных интервалов колонок донных осадков (мг/кг); *б* — в зависимости от содержания частиц размерности  $< 0,001$  мм (%) в образцах осадков, слагающих массив изучаемой геолого-экологической системы.

никах поступления седиментационного материала и условиях формирования массива геолого-экологической системы современного континентального склона Черного моря в разные исторические периоды (рис. 3).

Как известно, особенности накопления и содержания ТМ в геолого-экологической системе донных осадков связано с рядом факторов, из которых наиболее существенны гранулометрический состав осаждающегося материала, его вещественно-генетические типы, а также содержание в нем органического вещества. Корреляционный анализ взаимосвязи размерности частиц вещества, слагающих массив донных отложений, и содержание в них ряда микроэлементов дал неожиданные результаты — для всех тяжелых металлов по всей длине колонки коэффициент корреляции с составляющей пелитовой размерности оказался отрицательным. При этом для ртути и свинца корреляция с фракцией  $< 0,001$  мм достигла значений 0,9 и 0,74 соответственно, что даже при ограниченном количестве измерений (8 шт.) и уровне значимости альфа 0,001 является показательным (рис. 4).

Исходя из анализа распределения концентраций исследуемых микроэлементов и изменения состава колонок по вертикали, можно предположить, что основное влияние на содержание ТМ в массиве рассматриваемой геолого-экологической системы имеют вещественно-генетические типы осадков, слагающих разрез массива, и содержание в них органического вещества. Максимальные значения элементов ТМ, определенные в обоих изученных разрезах, привязаны к интервалам, представленным сапропелями, содержащими повышенные количества органического вещества.

## Выводы

Экспедиционные морские работы, а также проведенный комплекс литологических и микроэлементных исследований образцов геолого-экологической системы донных отложений, отобранных из разрезов осадочного массива на различных участках континентального склона, позволили выявить особенности вещественного состава донных осадков различного возраста, слагающих указанный массив геолого-экологической системы, распределение в нем концентраций тяжелых металлов, а также провести сравнение особенностей условий формирования геолого-экологической системы донных осадков на разных участках рассматриваемого континентального склона в различные временные интервалы Голоцена. Мощность слоев донных отложений различных типов и возрастов, представленных в массиве рассматриваемой геолого-экологической системы, показала для исследуемых участков существенную разницу в скоростях осадконакопления и, как следствие, отличие условий формирования соответствующих участков геолого-экологической системы в определенные временные периоды геологической истории развития геоэкоосистемы Черного моря в Голоцене. Выяснено также, что средние концентрации микроэлементов в геолого-экологической системе донных осадков континентального склона на границе с акваэкосистемой значительно ниже аналогичных показателей для поверхностного слоя геолого-экологической системы донных отложений шельфа. Привязка максимальных концентраций никеля, кадмия и ртути к сапропелевым отложениям еще раз подтвердила ведущую роль органического вещества в накоплении тяжелых металлов в ходе природных седиментационных процессов как составляющей условий формирования геолого-экологической системы донных отложений.

Данные выводы расширяют понимание особенностей затронутых в статье условий и процессов, так или иначе связанных с формированием геолого-экологической системы донных отложений континентального склона Черного моря, а также функций каждого из ее структурных компонентов и (или) элементов, что уже само по себе имеет практическое значение. Ибо без такого понимания невозможно принимать достаточно обоснованные, осмысленные решения относительно выбора тех или иных участков данной геолого-экологической системы для рационального освоения ее ресурсов, а также прогнозировать последствия избранных для этого путей, средств и технологий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Наседкин Е.И. и др. Геоэкология черноморского шельфа Украины. Киев: Академперіодика, 2004. 300 с.
2. Геологические, геоэкологические, гидроакустические, гидроэкологические исследования шельфа и континентального склона украинского сектора Черного моря. Под ред. А.Ю. Митропольского. Киев, 2013. 150 с.
3. Гончаров В.П., Непрочнов Ю.П., Непрочнова Д.Ф. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1972. 160 с.
4. Строение западной части Черноморской впадины. Отв. ред. Я. П. Маловицкий, Ю.П. Непрочнов. М.: Наука. 1972. 243 с.
5. Бабинец А.Е., Емельянов В.А., Митропольский А.Ю. и др. Физико-механические свойства донных отложений Черного моря. Киев: Наук. думка, 1981. 203 с.

6. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный И.И. Геохимия Черного моря. Киев: Наук. думка, 1982. С. 144.
7. Щербаков Ф.А. Некоторые особенности седиментогенеза на континентальной окраине Черного моря. *Океанология*. 1978. Т. 18. С. 880—885.

Статья поступила 11.04.2018

*В.О. Ємельянов, С.М. Довбиш, Є.І. Наседкін, К.К. Цимбалюк*

#### ВАЖКІ МЕТАЛИ У ГЕОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СХИЛУ ЧОРНОГО МОРЯ

Представлені результати досліджень розподілу деяких важких металів у геолого-екологічній системі донних відкладів Чорного моря. З'ясовано, що середні концентрації мікроелементів у геолого-екологічній системі донних осадів континентального схилу на кордоні з акваекосистемою значно нижчі аналогічних показників для поверхневого шару геолого-екологічної системи донних осадів шельфу. Розподіл максимальних концентрацій нікелю, кадмію та ртуті в масиві осадів ще раз підтвердив провідну роль органічної речовини в накопиченні важких металів в природних седиментаційних процесах.

**Ключові слова:** геолого-екологічна система донних відкладів, важкі метали, континентальний схил, Чорне море

*V.O. Yemelianov, S.N. Dovbysh, Y.I. Nasedkin, K.K. Tsybaliuk*

#### HEAVY METALS IN THE GEOLOGICAL-ECOLOGICAL SYSTEM OF THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE CONTINENTAL SLOPE OF THE BLACK SEA

The results of research on the distribution of some heavy metals in the geological-ecological system of the Black Sea sediments are presented. It was found that the average concentrations of trace elements in the geological-ecological system of bottom sediments of the continental slope on the border with the aquaecosystem are much lower than those for the surface layer of the geological-ecological system of bottom sediments of the shelf. The distribution of maximum concentrations of nickel, cadmium and mercury in an array of sediments has once again confirmed the leading role of an organic matter in the accumulation of heavy metals during natural sedimentation processes.

**Key words:** geological-ecological system of bottom sediments, heavy metals, continental slope, Black Sea.