

УДК 552.5:551.835(477.5)

**О.Ю. Митропольський<sup>1</sup>, Є.І. Наседкін<sup>1</sup>, Г.М. Іванова<sup>1</sup>, С.М. Довбиш<sup>1</sup>, А.О. Нікітіна<sup>1</sup>, С.Г. Федосєєнков<sup>2</sup>**

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ВМІСТУ НІКЕЛЮ В СКЛАДІ СЕДИМЕНТАЦІЙНИХ ПОТОКІВ**

**O.Yu. Mytropolskiy, Ye.I. Nasedkin, G.M. Ivanova, S.M. Dovbysh, G.O. Nikitina, S.G. Fedoseyenko**

**REGULARITIES OF FORMATION OF NICKEL CONTENT IN THE COMPOSITION OF SEDIMENTARY FLOWS**

Тривалі спостереження за розподілом важких металів у речовині седиментаційних потоків у атмосферному та водному середовищах проводяться співробітниками відділу сучасного морського седиментогенезу Інституту геологічних наук НАН України на базі експериментального полігону Морського гідрофізичного інституту (південний берег Криму, район смт. Кацівелі). Технічна складова реалізації досліджень – безперервний відбір зразків еолової речовини з вертикальних та горизонтальних атмосферних потоків, морської завіси на різних глибинах за допомогою седиментаційних пасток. Зібраний за час досліджень фактичний матеріал дозволив зробити узагальнення щодо основних закономірностей розподілу ряду важких металів, і зокрема, нікелю в натурній речовині седиментаційних потоків зони стику «суходіл-море».

*Ключові слова:* седиментаційні потоки, важки метали, зона стику «суходіл-море».

Researchers of Department of Modern Marine Sedimentogenesis of Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine on the basis of testing ground of Experimental branch of Marine Hydrophysical Institute of NAS of Ukraine (Kacively village, the South bank of Crimea) make continuous observations of distribution of heavy metals in the substance of sediment flows in air and marine environments. The following samples are continuously taking: Aeolian material of vertical and horizontal atmospheric flows; marine suspended matter on different depths using sediment traps. Collected data allowed to make generalizations about the basic laws of the distribution of some heavy metals, in particular nickel in natural substance of sediment flows of «land and sea» interaction zone.

*Keywords:* sediment flows, heavy metals, land and sea» interaction zone.

**ВСТУП**

Однією з головних груп, зазначених у «Конвенції про захист Чорного моря від забруднювачів», складеної та ухваленої Україною та іншими державами чорноморського регіону, безперечно, є важкі метали. Будучи в більшості необхідним елементом для життєзабезпечення всіх видів вищих рослин та тварин, в надлишкових концентраціях вони утворюють групу найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища.

Тривалі спостереження за розподілом важких металів у речовині седиментаційних потоків у атмосферному та водному середовищах проводяться співробітниками відділу сучасного морського седиментогенезу Інституту геологічних наук НАН України на базі експериментального полігону Морського гідрофізичного інституту (південний берег Криму, район смт. Кацівелі). Метою роботи було встановлення закономірностей седиментаційних процесів в районі досліджень та виявлення умов формування та перерозподілу природних концентрацій важких металів, а саме нікелю, в системі транзитних потоків осадової речовини.

**МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

Технічна складова реалізації досліджень – безперервний відбір зразків ґрунтів суходолу, еолової речовини з вертикальних та горизонтальних ат-

мосферних потоків, морської завіси на різних глибинах та донних відкладів за допомогою створеного та встановленого на океанографічній платформі комплексу устаткування. Останнє складається з аерозольних пасток-вітрил вертикального та горизонтального розташування, закріплених на верхній палубі платформи, седиментаційних пасток, розташованих на різних глибинах (в товщі води – 15 метрів та над дном – 26 метрів), та приладів для відбору зразків верхнього шару (0-10 см) донних відкладів. Детальніше вищевказана апаратура описана в роботі (Наседкін, Митропольський, Іванова, 2013).

**РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Приведені нижче дані – результат трирічних натурних досліджень та лабораторних аналізів, що дозволило зробити узагальнення щодо основних закономірностей природного розподілу ряду важких металів, і, зокрема, нікелю, в натурній речовині та впливу седиментаційних процесів на зміни його концентрацій в різних об'єктах навколишнього середовища.

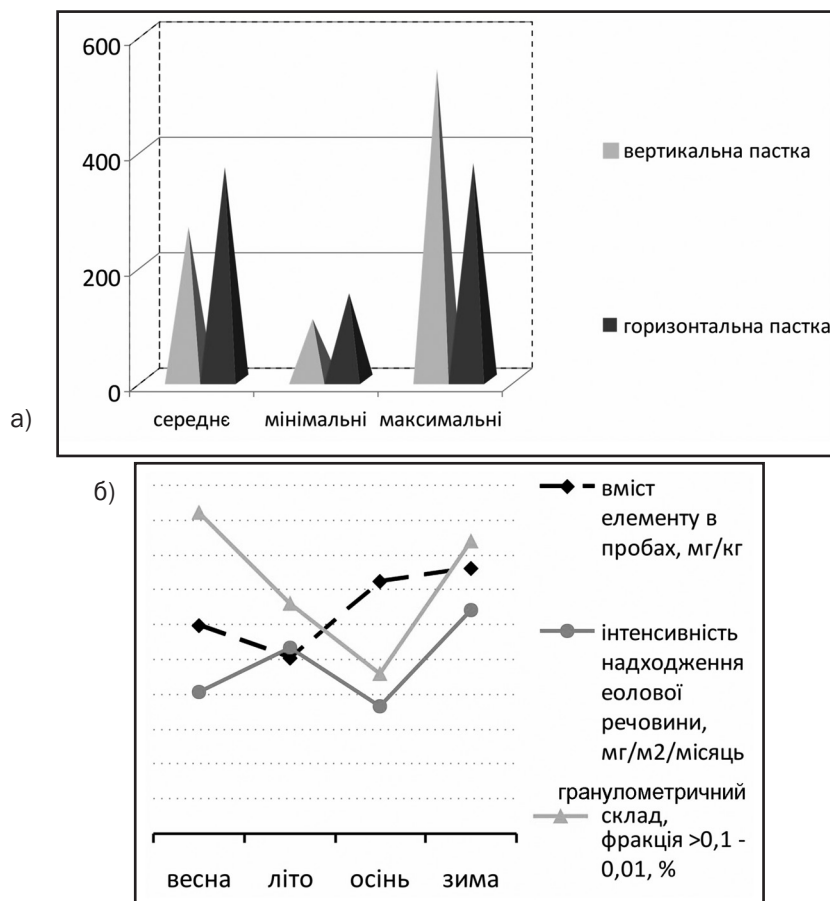
При кларковому вмісті нікелю для осадових порід 95 г/т та літосфери (Перельман, 1989) – 58 г/т, фоновий вміст у ґрунтах в середньому становить до 50 г/т (Барабашев, Верховецкий, Пристер, 1991; Техногенное загрязнение..., 1996). Для степової зони харак-

терна мала геохімічна рухомість (Перельман, 1989). Для ґрунтів ділянки досліджень та площ, прилеглих до неї, вміст нікелю наведено в таблиці 1.

На фоні незначного вмісту елемента в ґрунтах (до 50 мг/кг) ділянки досліджень, суттєво зростають його концентрації в еоловій завесі та в середньому за рік досягають 316 мг/кг (рис. 1,а). Ано-

мальні концентрації елемента в еоловій завесі за період досліджень не виявлено. Мінімальні концентрації в середньому властиві теплову сезону.

Для нікелю, як і для більшості досліджуваних мікроелементів, спостерігається неясково виражена зворотна закономірність у річній динаміці розподілу надходження еолової речовини в пастки та



**Рис. 1.** Вміст нікелю: а – в складі еолової речовини (дані за період 2010-2012 рр., мг/кг); б – осереднені за сезонами дані: вмісту нікелю в зразках еолової речовини, вмісту псамміто-алевритової фракції та інтенсивності накопичення атмосферної завесі в пастках.

**Fig. 1.** The content of nickel: a – in the composition of aeolian matter (for the period 2010-2012, mg / kg); b – data averaged by seasons: nickel content in the samples of aeolian matter, content of psammite-aleurite fraction and intensity of accumulation of atmospheric suspended matter in traps.

Таблиця 1. Порівняльна таблиця вмісту нікелю в ґрунтах водозбірних територій Чорного моря в межах південної частини Кримського півострова ((Жовинский, Кураева, 2002), наші дані)

Table. 1. Comparison table of nickel content in soils of the Black Sea catchment areas within the southern Crimean peninsula (Zhovinskiy, Kuraeva, 2002), our data)

№	Тип ґрунтів	Вміст Ni (мг/кг)
Область Південного берегу Криму		
1	Коричнева горна	48
2	Ґрунти берегового схилу, рентген-флуорисцентний аналіз (наші дані)	50
Кримська Південностепова провінція		
6	Чорнозем південний малогумусний глинистий	32
	Бурий гірсько-лісовий щебеневий	50
Область Головної гірської гряди Кримських гір		
7	Гірсько –лісова легкосуглиниста	42

вмісту елемента у відібраних пробах для теплого періоду року. Для візуальної оцінки розподілу інтенсивності надходження речовини, змін її гранулометричного складу та вмісту елемента за сезонами побудовано зведений графік (рис. 1, b), який відображає основні тенденції змін цих показників.

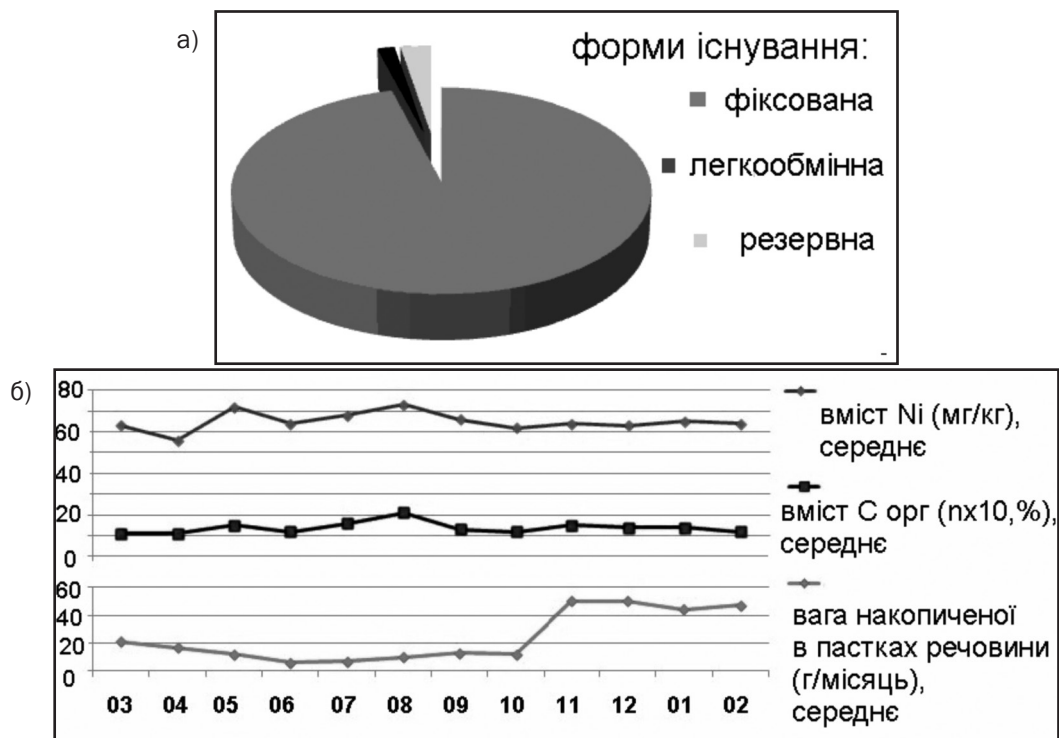
Інтенсивність надходження речовини в горизонтальні пастки помітно більша, ніж у вертикальні, загалом концентрації нікелю в еоловій завесі більш як у шість разів перевищують вміст його в ґрунтах території постачання седиментаційної речовини, а внутрішньорічний щомісячний розподіл елемента не виявляє чітких сезонних залежностей.

Як одну з особливостей перебування нікелю в атмосферному середовищі можна відмітити вкрай низький вміст його рухомих форм у зразках еолової завесі (рис. 2, a).

Можливо, це зумовлює зв'язок елемента з мінеральною компонентою еолової завесі, де він знаходиться у фіксованому стані, на що вказує відповідність динаміки розподілу концентрацій елемента та мінеральної складової аерозолів. Іншою вірогідною причиною може бути методика первинної підготовки зразків еолової за-

висі до аналітичних лабораторних досліджень, за якою відбувається промивка дистильованою водою фільтрувальних елементів пасток. Можливий активний перехід легкообмінної форми у розчин підтверджується літературними джерелами, де зазначається значний вміст нікелю в атмосферних опадах в межах атмосферних геохімічних аномалій. Так, максимальний вміст в пробах дощових вод за дослідженнями (м. Севастополь, друга половина літа, 1993 р.) становив 23 мкг/л, при середньому значенні 6 мкг/л (перебільшення середнього вмісту в річках вдвічі).

Відсутність чітких часових залежностей характеризує і розподіл нікелю в морській завесі речовини на спостережній ділянці. В зв'язку з меншою кількістю вимірів вмісту елемента, інформацію подано вибірково тільки за місяці, коли аналізували одночасно  $C_{орг}$ , вміст елемента та інтенсивність накопичення завислої речовини. За отриманими нами даними, концентрації нікелю в морській завесі в середньому були 67 г/т, середній вміст у складі речовини, накопиченої в донних пастках незначно перевищував вміст в речовині пасток верхнього рівня. Характер розподілу вмісту



**Рис. 2.** Вміст нікелю: а – співвідношення форм вмісту нікелю (мг/кг) в атмосферній завесі. Діаграму складено за одиничними вимірами; б – середньорічні порівняльні дані щодо розподілу вмісту нікелю в завесі з пасток обох рівнів, вмісту органічного вуглецю та інтенсивності осадконакопичення за цей період.

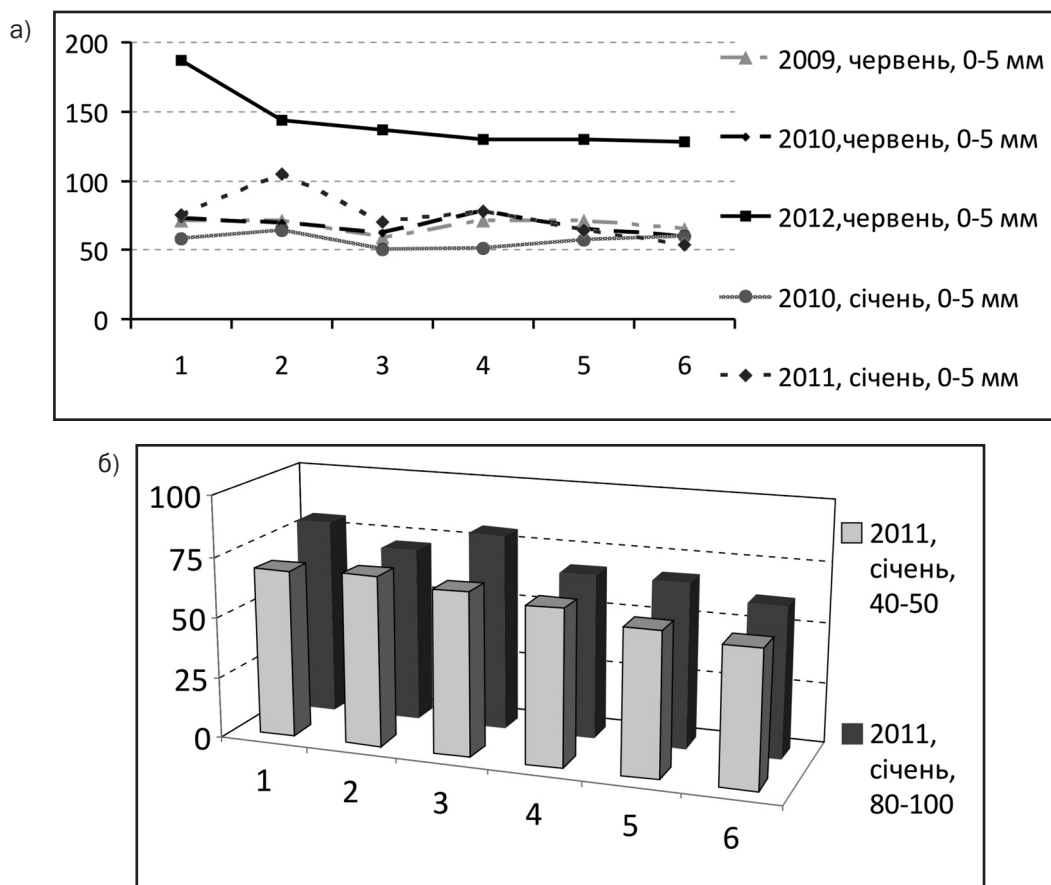
**Fig. 2.** The content of nickel: a – ratio of nickel content (mg/kg) forms in atmospheric suspension. Figure was compiled from single measurements; b – average annual comparative data on the distribution of nickel content in suspended matter from the traps of both levels, organic carbon content and intensity of sedimentation during this period.

елементу за вертикальними рівнями відрізняє його від міді та цинку – концентрації нікелю в морській завісі зменшуються з глибиною. Графіки сезонного розподілу (рис. 2, б) свідчать про деяке невиражене збільшення вмісту елемента в теплий період і відповідно від'ємний зв'язок з інтенсивністю процесів накопичення речовини в пастках. Кореляція між вмістом нікелю в завісі та розподілом органічного вуглецю може вказувати на те, що в надходженні елемента в морське середовище та перерозподілі між вмістом в рідкій та твердій фазах біотичні процеси займають чільне місце. Ця тенденція загалом обґрунтовується й літературними даними, які свідчать про те, що в морському середовищі головна частина нікелю знаходиться в вигляді розчину і може досягати 1-3 мкг/л. Часткове вилучення нікелю з розчину відбувається в процесі поглинання планкто-

ном, який, за даними, може накопичувати елемент у сотні разів більше, ніж у водному середовищі. Літературні джерела свідчать, що інтенсивність міграції в воді нікелю нижча за інтенсивність його біологічного кругообігу в 10 разів (Безбородов, Еремеев, 1984), при цьому в біогеохімічних циклах беруть участь і завислі тверді частинки (Гайдаш, 1988).

Таким чином, підвищення вмісту елемента в завісній речовині в теплий період можливо недостатньо яскраво корелює із збільшенням вмісту органічного вуглецю і, вірогідно, пов'язане з сезонними особливостями проходження біологічних процесів.

При цьому зміни обсягів накопичення мінеральної складової в пастках не мають достатньо чіткого впливу на зміни концентрацій елемента. Прибережні ґрунти, вміст нікелю в яких у середньому не перевищує 50 г/т, не можуть слугувати суттєвим джере-



**Рис. 3.** Розподіл концентрацій нікелю у донних відкладах: а – у верхньому шарі донних відкладів (0-5мм) за профілем в напрямку море – суходіл у зимовий та літній сезони. Вертикальна шкала – вміст мікроелемента, мг/кг; б – у підстиляючих шарах донних відкладів (40-100 мм інтервалу вертикальної колонки) за профілем в напрямку «море – суходіл». Вертикальна шкала – вміст мікроелемента, мг/кг.

**Fig. 3.** The distribution of nickel concentrations: a – in the upper layer of bottom sediments (0-5mm) in the «sea – land» direction in winter and summer seasons. Vertical scale is the trace element content, mg / kg; ,) b – in underlying layers of sediments (40-100 mm range of vertical columns) in the of «sea – land» direction. Vertical scale is the trace element content, mg / kg.

лом збагачення морської завіси, на відміну від речовини атмосферного аерозолі, який є одним з суттєвих джерел надходження елемента в акваторію.

За даними (Митропольский, Безбородов, Овсяный, 1982), фоновий вміст нікелю для донних відкладів Чорного моря визначається для алевритів відповідно у 50 мг/кг, глинистих мулів – 67, вапняково-глинистих мулів – 40 мг/кг. Моніторингові дослідження донних відкладів у межах геоекологічного полігону виявили дещо вищі концентрації елемента, що в середньому для верхнього шару ґрунтів становлять 81 мг/кг, а для підстеляючих у вертикальному інтервалі до 100 мм – 72 мг/кг.

Розподілу концентрацій нікелю у верхньому шарі донних відкладів властива хаотичність вмісту в різних сезони та значні його перепади за окремі роки. Якщо для розподілу міді спостерігались залежності за порівнянням теплого (червень) та холодного (січень) періодів, що визначалось у підвищенні концентрацій елемента в теплий сезон у верхньому шарі, то для нікелю такі залежності відсутні (рис. 3,а).

На графіках, що демонструють розподіл елемента за точками профілів та часовими інтервалами, можна спостерігати тенденцію до зменшення вмісту нікелю у всі сезони від точки 1 (1,5 км від берега до точки 6 (600 м від берега), що обумовлюється збільшенням гранулометричного складу осадків. Останнє цілком відповідає класифікації Н.М. Страхова, належить «впорядкованому згладженому типу» – вміст більшості мікроелементів і зокрема важких металів, зростає в ряду псаміти – алеврити – пеліти.

Щодо вмісту елемента в інтервалі 50-100 мм, то він демонструє узгодженість, відсутність суттє-

вих перепадів вмісту та загальну невиразну тенденцію до зменшення вмісту нікелю за профілем «море – суходіл» (рис. 3, б).

Те саме стосується і прогнозованого тяжіння концентрацій елемента у верхньому шарі донних відкладів у зимовий період до вмісту в підстеляючих шарах – середні показники змін вмісту елемента демонструють таку тенденцію: вміст у верхньому шарі донних відкладів, червень (середнє за трьома сезонами) – 93 мг/кг; вміст у верхньому шарі донних відкладів, лютий (середнє за трьома сезонами) – 65 мг/кг; вміст у підстеляючих шарах донних відкладів, вертикальний інтервал 50-100 мм (середнє за двома сезонами) – 68 мг/кг.

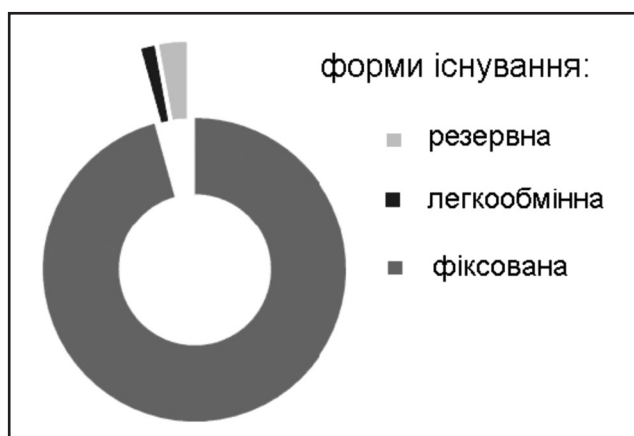
Слід додати, що концентрацій елемента в різних середовищах транзиту та накопичення, у верхньому шарі донних відкладів вміст легкообмінних форм нікелю становить перші відсотки, що зайвий раз обґрунтовує його високу рухомість у водному середовищі (рис. 4).

Літературні дані також свідчать про те, що в морському середовищі основна частина нікелю знаходиться в вигляді розчину (Митропольский, Безбородов, Овсяный, 1982; Глаголева, 1959; Горбенко, Митропольский, 1976) і може досягати для району досліджень 3 мкг/л.

**ВИСНОВКИ**

Узагальнюючи матеріали, отримані в ході робіт, слід зазначити, що на даному етапі реалізації спостережень окреслюється можливість визначення ряду стійких закономірностей седиментаційних процесів в районі досліджень, що дозволяє створити підґрунтя для з'ясування умов формування та перерозподілу природних концентрацій важких металів в системі транзитних потоків осадової речовини від винесення з ґрунтів суходолу і до депонування в складі донних відкладів.

Подальша реалізація моніторингу при постійному функціонуванні системи спостережень створить умови не тільки для дослідження перебігу основних природних процесів, але й дозволить визначити реальну ступінь забруднення середовища важкими металами, зокрема шляхом порівняння з середньостатистичними багаторічними показниками для певного сезону чи певної синоптичної і гідродинамічної обстановки, а також з певною вірогідністю дослідити географію джерел надходження забруднювачів та спрогнозувати спрямованість процесів природного самоочищення.



**Рис. 4.** Співвідношення форм вмісту нікелю у верхньому шарі донних відкладів, мг/кг. Діаграму складено за одиничними вимірами.

**Fig. 4.** Ratio of nickel content form in the top layer of bottom sediments, mg/kg. Figure was compiled from single measurements.

## REFERENCES

- Barabashev S.V., Verkhovetsky N.A., Prister B.S., 1991. Radioactive and chemical contamination of soil and vegetation near Zaporozhye NPP. Moscow, I.V. Kurchatov Institute of Atomic Energy, 82 p. (In Russian).
- Bezborodov A.A., Ereemeev V.N., 1984. Physical and chemical aspects of ocean-atmosphere interaction Kiev, *Naukova Dumka*, 191 p. (In Russian).
- Gaydash Yu.K., 1988. Distribution of heavy metals in forest soils and agrobiogenesis. *Heavy metals in the environment and Nature protection*, pp. 76–78. (In Russian).
- Glagoleva M.A., 1959. Forms of migration of elements in river waters. *To the knowledge of sediments diagenesis*, pp. 5–28. (In Russian).
- Gorbenko Yu.A., Mitropolsky A.Yu., 1976. Dynamics of elements distribution in suspension of the Black Sea. Kiev, *Reports of AN of UkrSSR*, No 8, pp. 675–678. (In Russian).
- Zhovinskiy E.Ya., Kuraeva I.V., 2002. Geochemistry of heavy metals in soils of Ukraine. Kiev, *Naukova dumka*, 213 p. (In Russian).
- Mitropolskiy A.Yu., Bezborodov A.A., Ovsyanyy Ye. I., 1982. Geochemistry of the Black Sea. Kiev, *Naukova dumka*, 144 p. (In Russian).
- Nasedkin E.I., Mytropolskiy O. Yu., Ivanova G.M., 2013. Monitoring of sedimentation processes in the land-sea interaction zone, pp. 38-52. (in Ukrainian).
- Perelman A.I., 1989. Geochemistry. Moscow, *Vysshaya shkola*, 527 p. (in Russian).
- Technogenic pollution and processes of natural cleaning of Caucasian area of the Black Sea, 1996. Moscow, *Nedra*, 502 p. (In Russian).
- Барбашев С.В. Радиоактивное и химическое загрязнение почвы и растительности в районе Запорожской АЭС / С.В. Барбашев, Н.А.Верховецкий, Б.С. Пристер. – Москва: ИАЭ им. Курчатова И.М., 1991. – 82 с.
- Безбородов А.А. Физико-химические аспекты взаимодействия океана и атмосферы / А.А. Безбородов, В.Н. Еремеев. – К.: Наукова думка, 1984. – 191 с.
- Гайдаш Ю.К. Распределение тяжелых металлов в почвах лесных и агробиоценозов / Ю.К. Гайдаш // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. – 1988. – С. 76–78.
- Глаголева М.А. Формы миграции элементов в речных водах / М.А. Глаголева // К познанию диагенеза осадков. – 1959. – С. 5–28.
- Горбенко Ю.А. Динамика распределения элементов во взвеси Черного моря / Ю.А. Горбенко, А.Ю. Митропольский // Доповіді АН УРСР. – 1976. – №8. – С. 675–678.
- Жовинский Э.Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. – К.: Наукова думка, 2002. – 213 с.
- Митропольский А.Ю. Геохимия Черного моря / А.Ю. Митропольский, А.А. Безбородов, Е.И. Овсяный – К.: Наукова думка, 1982. – 144 с.
- Наседкін Є.І. Моніторинг седиментаційних процесів у зоні взаємодії суходолу та моря / Є.І. Наседкін, О.Ю. Митропольський, Г.М. Іванова – Севастополь, НВЦ «ЕКОСІ-Гідрофізика», 2013, с. 38-52.
- Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 527 с.
- Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря / [ред. И.Ф. Глумов, М.В. Кочетков] – М.: Недра, 1996. – 502 с.

Manuscript resived 22 January 2015;  
revision accepted 14 April 2015.

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук Національної академії наук України,  
Київ, Україна

<sup>2</sup> Державна установа «Науковий гідрофізичний центр НАН України»,  
Запоріжжя, Україна  
nasedevg@ukr.net

**А.Ю. Митропольский, Е.И. Наседкин, А.Н. Иванова, С.Н. Довбыш, А.А. Никитина, С.Г. Федосеенков**

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НИКЕЛЯ В СОСТАВЕ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПОТОКОВ**

Длительные наблюдения за распределением тяжелых металлов в веществе седиментационных потоков в атмосферной и водной среде проводятся сотрудниками отдела современного морского седиментогенеза Института геологических наук НАН Украины на базе экспериментального полигона Морского гидрофизического института (южный берег Крыма, район пгт. Качивели). Техническая составляющая реализации исследований – непрерывный отбор образцов олового вещества из вертикальных и горизонтальных атмосферных потоков, морской взвеси на разных глубинах с помощью седиментационных ловушек. Собранный за время исследований фактический материал позволил сделать обобщения относительно основных закономерностей распределения ряда тяжелых металлов, и в частности, никеля в натурной веществе седиментационных потоков зоны стыка «суша-море».

*Ключевые слова:* седиментационные потоки, тяжелые металлы, зона сопряжения «суша-море».