

## ГЕОЕКОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 550.42:551.14(477-25)

І. В. Курасва\*, О. Р. Акімова\*, Г. А. Кроїк\*\*

\*Інститут геохімії, мінералогії, рудознавства ім. М. П. Семененка НАН України

\*\*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

### ЛІТОЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДОННИХ ВІДКЛАДЕННЯХ КИЇВСЬКОГО МЕГАПОЛІСУ

Викладено особливості розповсюдження важких металів у донних відкладеннях у межах Київського мегаполісу за допомогою гранулометричного та спектрального аналізів. Донні відкладення представлені псефітами, псамітами, алеврітами й пелітами. Найбільш поширеними є піщані осади (псаміти). Такі елементи, як кобальт, цинк, мідь, барій, хром, нікель, виявлені в усіх фракціях усіх зразків. Кадмій виявлений тільки у зразку з оз. Нижній Тельбін. В озерах Мінське і Нижній Тельбін зазначені елементи перевищують фонові значення в десятки і сотні разів, і ці озера найбільш забруднено важкими металами.

*Ключові слова:* важкі метали, донні відклади.

Описаны особенности распространения тяжелых металлов в донных отложениях в пределах Киевского мегаполиса с помощью гранулометрического и спектрального анализов. Донные отложения представлены псефитами, псамитами, алевритами и пелитами. Наиболее распространенными являются песчаные осадки (псамиты). Такие элементы, как кобальт, цинк, медь, барий, хром, никель, обнаружены во всех фракциях всех образцов. Кадмий выявлен только в образце с оз. Нижний Тельбин. В озерах Минское и Нижний Тельбин данные элементы превышают фоновые значения в десятки и сотни раз, и эти озера наиболее загрязнены тяжелыми металлами.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, донные отложения.

The paper presents the characteristics of heavy metals in the sediments within the metropolis of Kiev with grading and spectral analyzes. Bottom sediments are psephites, psamitami, silts and pelites. The most common are the sandy sediments (psamity). Elements such as cobalt, zinc, copper, barium, chromium and nickel were found in all fractions of the samples. Cadmium is found only in the sample with the lake. Lower Telbin. In lakes and Lower Minsk Telbin listed items higher than background values in the tens and hundreds of times and they are the most contaminated with heavy metals.

*Key words:* heavy metals, sediment.

**Вступ.** Хімічно чиста вода, як зазначав В. І. Вернадський, у природі практично відсутня або існує короткий час і процес «забруднення» природних вод відбувається регулярно в кожній точці літосфери [1]. Осадовий матеріал, який постійно надходить до дна природних і штучних водоймищ, починає взаємодіяти з вод-

ними масами, бере участь у діагенетичних процесах, у результаті яких змінюється мінералогічний склад донних відкладів, умови перебігу хімічних реакцій. Взаємодія донних відкладень з водними масами характеризується фізичними та хімічними показниками.

Донні відкладення, як гетерогенна система, утворюються із частинок різної величини, присутність яких є результатом седиментації й трансседиментації речовини. Ця речовина надходить із різних джерел, тобто є результатом сортування за гідравлічною величиною і має суттєве значення при проведенні еколого-геохімічних досліджень.

Оцінка еколого-геохімічного стану донних відкладень зазвичай базується на визначенні складу забруднювачів, частіше за все важких металів у воді. Важкі метали належать до найзагрозливіших речовин, які навіть у досить низьких концентраціях є високотоксичними щодо живих організмів [8].

Осадовий матеріал вступає у взаємодію з водними масами і, у міру накопичення, підключається до діагенетичних процесів, що відбуваються за участю різних хімічних елементів, зокрема важких металів

Питанню вивчення літологічних особливостей осадового матеріалу більше ста років. Ще в 1891 р. Дж. Меррей і А. Ренар створили перші загальні класифікації, за ними О. Крюммель – у 1907 р., К. Андре – у 1920 р. тощо. Широко застосовується в наш час класифікація осадів Траска (1939), а серед вітчизняних учених – Н. Н. Зубова (1950), С. І. Романовського (1968) та ін. Із радянських часів і понині в океанографічних організаціях використовують класифікацію М. В. Кленової [2; 3]. Одна із значних сучасних вітчизняних класифікацій належить Д. В. Налівкіну [4]. Суттєвим внеском у літологію стала класифікація осадів морів та озер малої мінералізації, запропонована Н. М. Страховим [5; 6]. У 1960 р. П. Л. Безруковим і А. П. Лісіциним була створена комплексна класифікація осадів сучасних водоймищ, яка побудована, зокрема, на тих самих принципах, що й класифікація Н. М. Страхова і є спробою її подальшого розвитку. Розподіл осадів у ній такий: за один з основних показників гранулометричного складу прийняті переважаючі фракції. Числові межі між окремими типами осадів прийняті за найбільш поширеною десятичною системою (наприклад, розмірність зерен піску – від 1,0 мм до 0,1 мм, алевриту – від 0,1 мм до 0,01 мм і т.д.). Хоча розподіл пісків (псамітів) не завжди (за П. Л. Безруковим) виділяють за переважаючою фракцією і часто об'єднують під однією назвою «великі й середні», у нас була можливість розподілити піски за трьома фракціями: великі, середні, дрібні. Серед алевритових осадів за гранулометричним складом нами виділені алеврити великі та дрібноалевритові мули.

**Мета роботи** – дослідити закономірності розподілу важких металів за гранулометричними фракціями донних осадів у водоймищах Київської міської агломерації.

**Об'єкт дослідження.** Нами досліджені донні відкладення території Київської міської агломерації. Місто Київ, як складна урбанізована природно-техногенна геосистема зі складною взаємодією природних і антропогенних факторів у часі й просторі, знаходиться в тектонічній зоні переходу від Українського Кристалічного щита (УКЩ) на заході до Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) на сході. У геологічній будові території беруть участь докембрійські кристалічні утворення і потужна товща осадових відкладень. У складі останньої встановлено відкладення тріасової, юрської, крейдової, палеогенової, неогенової й четвертинної систем. До тріасової системи віднесено товщу глинисто-піщаних порід, що залягають безпосередньо на поверхні кристалічного фундаменту. Палеогенова система представлена канівською світою, яка ніде не виходить на денну поверхню.

Розташованість м. Києва на північно-східному схилі Українського щита пояснює значну відмінність у глибині залягання кристалічних порід: близько 200 м

у правобережній частині міста і 500 м у лівобережній. Товща осадових порід утворена пісками, пісковиками, глинами, мергелями [7; 8].

Територія м. Києва розташована в межах трьох орографічних областей: Придніпровської височини, Поліської та Придніпровської низовин. Найвищі позначки земної поверхні у місті становлять майже 200 м [9]. Піднятою в цілому є вся південно-західна частина міста, де абсолютні висоти становлять від 130 м до 160 м. Переважаючі позначки на лівобережжі – від 99 м до 104 м. Найнижчі ділянки міської території відповідають рівню води у р. Дніпро (в умовах межені) – від 91,5 м до 92,0 м [9]. Тектонічне підняття правобережної частини міста й значна відмінність висотного положення окремих його частин спричиняють доволі сильну ерозію земної поверхні (передусім на правобережжі), що зумовлює досить значну розчленованість рельєфу, поширення зсувних процесів та ярів.

**Методи дослідження** – механічні та фізико-хімічні: гранулометричний аналіз донних відкладень (сітвовий та аерометричний), атомно-емісійний спектральний на спектрографі (СТЕ-1) великої дисперсії (4,7 А %/мм). Механічний аналіз проб донних відкладень дозволив виділити шість розмірних фракцій (<0,1 мм, від 0,25 мм до 0,1 мм, від 0,5 мм до 0,25 мм, від 1,0 мм до 0,5 мм, від 2,0 мм до 1,0 мм, від 5,0 мм до 2,0 мм), визначити ваговий процентний вміст фракцій у пробі.

**Викладення основного матеріалу.** Донні відкладення, як невід'ємна частина всієї водойми і як одна з головних інформативних складових, дають змогу оцінити у просторі й часі зміни розподілу, міграцію та нагромадження природних і техногенних компонентів у системі вода – донні відкладення. Сучасний високий рівень антропогенного навантаження на геологічне середовище спричинив техногенно зумовлені зміни в геохімічній складовій гідроекосистем. Тому однією з актуальних сучасних проблем вивчення навколишнього середовища є літолого-геохімічна оцінка донних відкладень як складової еколого-геохімічної характеристики території.

Результати гранулометричних досліджень можна використовувати для інтерпретації мінерального та хімічного складу осадових порід, оскільки існують тісні кореляційні зв'язки між дисперсністю донних відкладень і розподілом у них різних речовинно-генетичних компонентів [10].

У процесі вивчення матеріалу були відібрані проби донних відкладень на правому й лівому берегах р. Дніпро в межах Київської агломерації і в різних функціональних частинах міста (рис. 1).



**Рис. 1. Схема розташування точок відбору проб води:**  
1 – оз. Кирилівське; 2 – оз. Мінське; 3 – оз. Святошинське; 4 – оз. Алмазне;  
5 – оз. Лісове; 6 – р. Либідь; 7 – оз. Нижній Тельбін

Гранулометричний аналіз зроблений по відібраним пробам за період 2009–2011 рр. по м. Києву. У таблиці наведені дані щодо найбільш забруднених водойм згідно з відібраними пробами. Інтерпретація гранулометричного складу донних відкладень проведена за класифікацією П. Л. Безрукова та А. П. Лісичина [11].

Таблиця

Усереднений гранулометричний склад донних відкладень м. Києва, мас. %

Місце відбору проби (2009 – 2012 рр.)	Гранулометричні фракції, мм								
	5,0–2,0	2,0–1,0	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	<0,005
р. Либідь (т. 6)	0,06	0,06	0,95	31,70	50,71	11,49	0,58	–	4,44
оз. Лісове (т. 5)	0,78	0,46	2,92	36,24	43,87	12,95	–	–	2,79
оз. Алмазне (т. 4)	0,50	0,48	4,40	22,25	52,60	16,80	0,38	0,06	2,40
оз. Кирилівське (т. 1)	0,11	0,40	9,07	48,96	25,39	12,41	–	–	3,66
оз. Святошинське (т. 3)	1,05	0,43	3,94	21,73	53,94	16,60	0,10	–	2,17
оз. Нижній Тельбін (т. 7)	–	–	17,12	28,52	32,95	17,42	–	–	4,66
оз. Мінське (т. 2)	2,21	1,43	5,62	24,03	44,86	19,09	0,13	–	2,63

За основний показник гранулометричного складу прийнято вміст переважаючої фракції. Треба зазначити, що класифікації сучасних (як і давніх) осадових порід за гранулометричним складом базуються на кількісній оцінці переважаючої фракції. Згідно з роботою [11] числові межі між окремими типами осадів прийняті за десятичною системою: наприклад, розмірність зерен піску – від 1,0 мм до 0,1 мм, алевриту – від 0,1 мм до 0,01 мм та ін.

Наведені в таблиці дані за гранулометричним складом відібраних проб показали, що переважаючими є піщані осадки, так звані псаміти, які, у свою чергу, представлені пісками великими, середніми й дрібними, склад яких, у межах зазначеної групи осадів, змінюється так: 6,29 %, 30,50 %, 43,47 % відповідно. Алевритові осадки в отриманих пробах помічені скрізь тільки як алеврити великі (від 0,10 мм до 0,05 мм) – 15,25 %, на відміну від дрібноалевритових мулів (від 0,1 мм до 0,01 мм; таблиця) – 0,30 %. Глинисті осадки (пеліти) представлені в усіх зазначених пробах глинистими мулами (<0,005 мм) – 3,25 %; алеврито-глинисті мули (від 0,01 мм до 0,005 мм) виявлені тільки в донній пробі з оз. Алмазне (т. 4) і становлять лише 0,06 %.

Грубоуламкуваті осадки (псафіти) зазначені в усіх пробах, за винятком донних відкладів з оз. Нижній Тельбін (т. 7). Для запису наглядності результатів механічного аналізу використаний графічний метод: за даними таблиці побудовані гістограми (рис. 2), де процентний склад кожної фракції відображений у вигляді прямокутника, основа якого – розміри фракції (d), а висота – склад часток цього розміру у процентах (f). Тобто графік відображає складову кожної фракції окремо висотою колонки. Ураховуючи мету графічного методу (його наглядність), можна сказати, що діаграми гранулометричного складу підтверджують дані таблиці: основною фракцією, яка представлена в усіх пробах, є піщана.

Спектральний аналіз донних осадків виявив ступінь забруднення їх важкими металами. Забрудненими на нікель, кобальт, хром, мідь, свинець, цинк та деякі

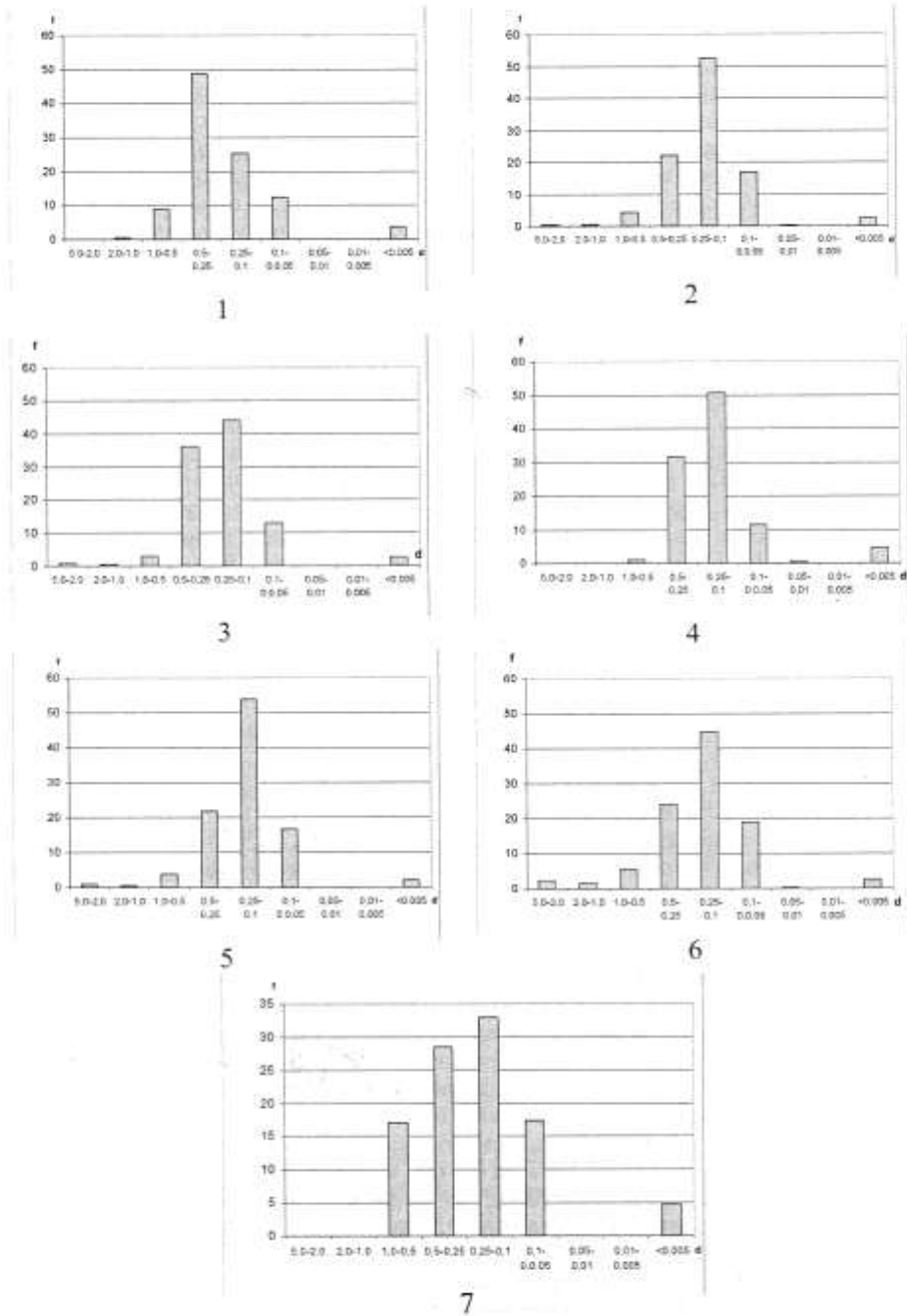


Рис. 2. Гістограми розподілу осадових часток у досліджуваних донних відкладеннях м. Києва: 1 – оз. Кирилівське; 2 – оз. Алмазне; 3 – стр. Пляховий; 4 – р. Либідь; 5 – оз. Ново-Біличі; 6 – оз. Мінське; 7 – оз. Нижній Тельбін



інші метали є майже всі відібрані проби. Так, основна концентрація нікелю накопичується в озерах Нижній Тельбін, Мінське: при фоновому значенні  $12,6 \text{ мг/дм}^3$  [12] валовий вміст дорівнює  $340 \text{ мг/дм}^3$  (т. 7) і  $1000 \text{ мг/дм}^3$ . За фракціями для цих озер максимальна величина його досягає  $100 \text{ мг/дм}^3$  (фракція  $<0,10 \text{ мм}$ ) і  $350 \text{ мг/дм}^3$  (фракції від  $2,0 \text{ мм}$  до  $1,0 \text{ мм}$  і від  $5,0 \text{ мм}$  до  $2,0 \text{ мм}$ ). Максимальний вміст кобальту в оз. Кирилівське ( $30 \text{ мг/дм}^3$ ) у 10 разів перевищує фон ( $4,0 \text{ мг/дм}^3$ ) і належить до фракції  $<0,1 \text{ мм}$ , тобто до пелітової фракції, а валова його величина в озері (т. 1) досягає  $46 \text{ мг/дм}^3$ . Максимальне валове значення хрому показала проба з оз. Мінське ( $1430 \text{ мг/дм}^3$ ), а вміст хрому за фракціями в усіх наведених пробах коливається від  $5,0 \text{ мг/дм}^3$  (оз. Лісове і оз. Алмазне у фракціях від  $0,25 \text{ мм}$  до  $0,1 \text{ мм}$  і від  $0,5 \text{ мм}$  до  $0,25 \text{ мм}$ ) до  $500 \text{ мг/дм}^3$  (оз. Мінське), що перевищує фонове значення ( $29,2 \text{ мг/дм}^3$ ) майже у 25 разів. Забрудненість міддю значна: максимальне валове значення суттєво перевищує фон ( $24,2 \text{ мг/дм}^3$ ) – за фракціями: максимальне значення ( $10000 \text{ мг/дм}^3$ ) отримано у пробі донних відкладів в оз. Мінське (фракція від  $2,0 \text{ мм}$  до  $1,0 \text{ мм}$ ); показник забрудненості міддю в  $5000 \text{ мг/дм}^3$  (фракція від  $5,0 \text{ мм}$  до  $2,0 \text{ мм}$ ) і  $4000 \text{ мг/дм}^3$  (фракція  $<0,1 \text{ мм}$  – пелітова) теж виявлені в оз. Мінське. Найбільша забрудненість свинцем і цинком зафіксована в оз. Мінське: валове значення дорівнює  $7660 \text{ мг/дм}^3$ , що перевищує фонові значення ( $12,2 \text{ мг/дм}^3$  і  $32,0 \text{ мг/дм}^3$  відповідно) у сотні разів; максимальний вміст свинцю –  $6000 \text{ мг/дм}^3$ , цинку –  $5000 \text{ мг/дм}^3$ . Дуже забруднені цинком донні відкладення оз. Мінське (валове значення –  $6960 \text{ мг/дм}^3$ ) та оз. Нижній Тельбін (валове значення –  $13250 \text{ мг/дм}^3$ ). Максимальне значення цинку ( $5000 \text{ мг/дм}^3$ ) у пробі з оз. Мінське (т. 2) у фракції від  $2,0 \text{ мм}$  до  $1,0 \text{ мм}$ . Великий вміст цинку в оз. Нижній Тельбін:  $4000 \text{ мг/дм}^3$  – фракція  $<0,1 \text{ мм}$ ;  $3500 \text{ мг/дм}^3$  – фракція  $0,25\text{--}0,1 \text{ мм}$ ;  $3000 \text{ мг/дм}^3$  – фракція від  $0,5 \text{ мм}$  до  $0,25 \text{ мм}$ ;  $2750 \text{ мг/дм}^3$  – фракція від  $1,0 \text{ мм}$  до  $0,5 \text{ мм}$ .

Свинець і цинк повністю відсутні або майже відсутні (є в одній-двох фракціях) у таких пробах донних відкладень: оз. Лісове (т. 5; тільки цинк), оз. Алмазне (т. 4), у пробах з оз. Кирилівське (т. 1).

Що стосується кадмію, то він відсутній у наведених пробах осадов, за винятком відібраних з оз. Нижній Тельбін (т. 7), де його кількість дорівнює  $40 \text{ мг/дм}^3$  у фракціях  $<0,10 \text{ мм}$ , від  $0,25 \text{ мм}$  до  $0,10 \text{ мм}$ , від  $0,50 \text{ мм}$  до  $0,25 \text{ мм}$ . Барій присутній майже в усіх пробах, окрім озер Алмазне (т. 4) і Кирилівське (т. 1). Найбільше барію виявлено в оз. Мінське – валовий вміст –  $11900 \text{ мг/дм}^3$ .

Згідно з результатами спектрального аналізу донних відкладень (за фракціями) у поверхневих водах території Києва розраховано відсотковий вміст кожного елемента фракції в загальній вазі (валовий розподіл) кожної проби елемента. Забруднені нікелем, кобальтом, хромом, міддю всі досліджені проби в усіх фракціях (від  $5,0 \text{ мм}$  до  $<0,1 \text{ мм}$ ). Забруднення проб свинцем, цинком, кадмієм і барієм має строкатий характер. Так, свинцем забруднені майже всі проби, за винятком фракцій від  $1,0 \text{ мм}$  до  $0,5 \text{ мм}$  з оз. Алмазне і фракцій від  $0,5 \text{ мм}$  до  $0,25 \text{ мм}$  і від  $1,0 \text{ мм}$  до  $0,5 \text{ мм}$  з озер Кирилівське й Мінське. В усіх досліджуваних пробах виявлено великий вміст цинку, який, як зазначено вище, суттєво перевищує фон, і тільки в оз. Лісове (т. 5; фракції від  $0,25 \text{ мм}$  до  $0,1 \text{ мм}$ , від  $0,5 \text{ мм}$  до  $0,25 \text{ мм}$ , від  $1,0 \text{ мм}$  до  $0,25 \text{ мм}$ ), оз. Алмазне (т. 4; фракції від  $1,0 \text{ мм}$  до  $<0,1 \text{ мм}$ ), озерах Кирилівське та Мінське (т. 1, т. 2; фракції від  $2,0 \text{ мм}$  до  $0,1 \text{ мм}$ ) і оз. Святошинське (т. 3; фракції від  $0,25 \text{ мм}$  до  $0,1 \text{ мм}$  і від  $1,0 \text{ мм}$  до  $0,5 \text{ мм}$ ) його не виявлено.

Кадмій у відібраних пробах не виявлений, за винятком проб з оз. Нижній Тельбін (т. 7), де аналіз показав його наявність у фракціях від  $0,5 \text{ мм}$  до  $<0,1 \text{ мм}$ . Барій присутній у всіх відібраних пробах, але не в усіх фракціях. Так, він не виявлений в оз. Алмазне (т. 4) і в оз. Кирилівське (т. 1) у фракціях від  $0,5 \text{ мм}$  до  $0,25 \text{ мм}$  і від  $1,0 \text{ мм}$  до  $0,5 \text{ мм}$ .

**Висновки.** Проведений гранулометричний аналіз проб донних відкладень території Київської агломерації виявив, що вони представлені всіма групами осадов:

псефітами, псамітами, алеврітами й пелітами, але в різній кількості. Найбільш поширені піщані осади (псаміти), на частку яких припадає 80,2 %; на алевріти, пеліти і псефіти припадає 15,4 %, 3,2 % і 1,2 % відповідно.

Аналізуючі дані гранулометричного складу донних відкладень, автори встановили, що забруднюючими є всі досліджувані елементи, за винятком кадмію, незначна кількість якого виявлена тільки у пробах з оз. Нижній Тельбін.

Розглянуті закономірності розподілу важких металів в осадових відкладеннях Київської агломерації.

Результати спектрального аналізу показали, що найбільш забрудненими є осади з озер Мінське та Нижній Тельбін.

Таким чином, досліджені донні відкладення є в основному забрудненими важкими металами і потребують заходів щодо їх очищення.

#### Бібліографічні посилання

1. Вернадский В. И. Геохимическая классификация природных вод: докл. на заседании Всесоюз. Минералог. о-ва / В. И. Вернадский // Природа. – М., 1929. – № 9. – С. 735–758.
2. Кленова М. В. Отчет о работе по механическому анализу / М. В. Кленова // Бюл. ГОИН, 1. – 1931.
3. Кленова М. В. Классификация современных морских осадков / М. В. Кленова // Изв. АН СССР. Сер. «Геология». – М., 1954. – С. 51–71.
4. Наливкин Д. В. Учение о фациях / Д. В. Наливкин. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 1. – 546 с.
5. Страхов Н. М. К вопросу о классификации осадков современных морей и озер малой минерализации АН / Н. М. Страхов // Изв. АН СССР. Сер. «Геология». – 1953. – № 3 – С. 12 – 36.
6. Страхов Н. М. Образование осадков в современных водоемах / Н. М. Страхов : Ин-т геол. наук. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 792 с.
7. Баршевский Н. Е. Геоморфология и рельефообразующие отложения района г. Киева / Н. Е. Баршевский, Р. П. Купраш, Ю. Н. Швыдкий. – К.: Наук. думка, 1989. – 196 с.
8. Київ як екологічна система: природа – людина – виробництво – екологія. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2001. – 259 с.
9. Екологічний атлас Києва. – К.: Агенство інтермедіа, 2003. – 60 с.
10. Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства горных пород: материалы лабораторных исследований / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1990. – 328 с.
11. Безруков П. Л. Классификация осадков современных морских водоемов / П. Л. Безруков, А. П. Лисицын // Тр. ин-та океанологии. – М., 1960. – Т. 32. – С. 3–14.
12. Люта Н. Г. Екологічний стан довкілля та Європейські перспективи України / Н. Г. Люта // Мінеральні ресурси України. – 2011. – № 1. – С. 6–11.

*Надійшла до редколегії 27.03.2013 р.*