

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

*Інститут геохімії, мінералогії, рудознавства ім. М.П.Семененка НАН України  
Дніпропетровського національного університету ім. О.Гончара*

## **ЛІТОЛОГО – ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ДОННИХ ВІДКЛАДАХ КИЇВСЬКОГО МЕГАПОЛІСУ**

В статті приведені особливості розповсюдження важких металів у донних відкладах у межах Київського мегаполісу за допомогою гранулометричного і спектрального аналізу. Донні відклади представлені псефітами, псамітами, алеврітами і пелітами. Найбільш поширеними є піщані осадки (псаміти). Такі елементи, як кобальт, цинк, мідь, барій, хром, нікель виявлені у всіх фракціях всіх зразків. Кадмій виявлен тільки у зразку з оз. Нижній Тельбін. В озерах Мінське і Нижній Тельбін наведені елементи перевищують фонові значення в десятки і сотні разів і вони є найбільш забрудненими важкими металами.

*Ключові слова:* важкі метали, донні відклади.

В статье приведены 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 приведенные элементы превышают фоновые значения в десятки и сотни раз и они 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.

*Keywords:* heavy metals, sediment.

**Вступ.** Хімічно чиста вода, як відмічав В.І.Вернадський, в природі практично відсутня, або існує короткий час, [1] і процес "забруднення" природних вод відбувається регулярно в кожній точці літосфери. Осадковий матеріал, який постійно надходить на дно природних і штучних водоймищ, включається у взаємодію з водними масами, в діагенетичні процеси, в результаті яких змінюється мінералогічний склад донних відкладів, умови протікання хімічних реакцій. Взаємодія донних відкладів з водними масами характеризується фізичними і хімічними показниками.

Донні відклади, як гетерогенна система, складаються з часток різної крупності, присутність яких є результатом седиментації і трансседиментації речовини. Ця речовина надходить з різних джерел, тобто є результатом сортування по гідравлічній величині і має суттєве значення при проведенні еколого-геохімічних досліджень.

Оцінка еколого-геохімічного стану донних відкладів, як правило, базується на визначенні складу забруднювачів, частіше всього важких металів, у воді. Важкі

метали відносяться до найбільш загрозливих речовин, які мають високу токсичність для живих організмів в досить низьких концентраціях [8].

Осадочний матеріал вступає у взаємодію з водними масами і, по мірі накопичення, підключається до діагенетичних процесів, які протікають за участю різних хімічних елементів, зокрема важких металів

Питанню вивчення літологічних особливостей осадочного матеріалу більше ста років. Ще Дж. Меррей і А.Ренар створили у 1891 р. перші загальні класифікації, за ними О.Крюммель – у 1907 р., К.Андре – у 1920 р. та ін. Широко застосовуються в наш час класифікація осадків Траска (1939), а серед відчизняних вчених – Н.Н.Зубова (1950), С.І.Романовського (1968) та ін. З радянських часів і по нині в океанографічних організаціях використовують класифікацію М.В.Кленової [2, 3]. Одна із значних сучасних вітчизняних класифікацій належить Д.В.Налівкіну [4]. Суттєвим вкладом в літологію стала класифікація осадків морів і озер малої мінералізації, запропонована Н.М.Страховим [5, 6]. В 1960 р. П.Л.Безруковим і А.П.Лісіциним створена комплексна класифікація осадків сучасних водоймищ, яка побудована, взагалі, на тих самих принципах, як і класифікація Н.М.Страхова, і є спробою її подальшого розвитку. Розподіл осадків в ній слудуючий: в якості одного з основних показників гранулометричного складу прийняті переважаючі фракції. Числові границі між окремими типами осадків прийняті по найбільш поширеній десятичній системі (наприклад, розмірність зерен піску – від 1,0 до 0,1 мм, алеврита – від 0,1 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 "крупні і середні", в нас була можливість поділити піски на три фракції: крупні, середні, мілкі. Серед алевритових осадків по гранулометричному складу нами виділені алеврити великі і мілкоалевритові мули.

**Мета роботи** – дослідити закономірності розподілу важких металів по гранулометричним фракціям донних осадків у водоймищах Київської міської агломерації.

**Об'єкт дослідження.** Нами досліджені донні відклади території Київської міської агломерації. Місто Київ, як складна урбанізована природньо-техногенна геосистема зі складною взаємодією природних і антропогенних факторів в часі і 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 осадочних відкладів. У складі останньої встановлено відклади тріасові, юрські, крейдові, палеогенової, неогенової й четвертинної систем. До тріасової системи віднесено товщу глинисто-піщаних порід, що залягають безпосередньо на поверхні кристалічного фундаменту. Палеогенова система представлена канівською свитою, 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 в його лівобережній частині. Товща осадочних порід складена 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 130–160 м. Переважаючі позначки на лівобережжі – 99,0–104 м. Найнижчі ділянки міської

території відповідають рівню води у р. Дніпро (в умовах межені) – 91,5–92,0 м [9]. Тектонічне підняття правобережної частини міста і значна відмінність висотного положення окремих його частин спричинює досить сильну ерозію земної поверхні (передусім на правобережжі), що призводить до досить значної розчленованості рельєфу, поширенню зсувних процесів і ярів.

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

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

Результати гранулометричних досліджень можна використовувати для інтерпретації мінерального і хімічного складу осадків, так як існують тісні кореляційні зв’язки між дисперсністю донних відкладів і розподілу в них різних речовинно-генетичних компонентів [10].

В процесі вивчення матеріалу були відібрані проби донних відкладів на правому і лівому березі р. Дніпро в межах Київської агломерації і в різних функціональних частинах міста (Рис. 1).

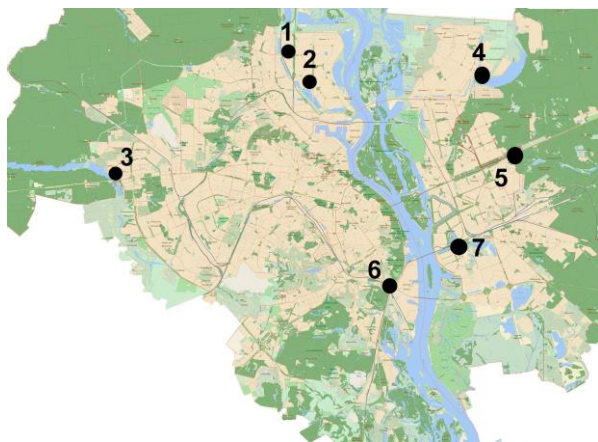


Рис. 1. Схема розташування точок відбору проб води: 1 – оз. Кирилівське; 2 – оз. Мінське; 3 – оз. Святошинське; 4 – оз. Алмазне; 5 – оз. Лісове; 6 – р. Либідь; 7 – оз. Нижній Тельбін.

Гранулометричний аналіз зроблений по відібраним пробам за період 2009–2011 рр. по м. Києву. В табл. 1 наведені дані по найбільш забрудненим

водоймам серед відібраних проб. Інтерпретація гранулометричного складу донних відкладів проведена за класифікацією П.Л.Безрукова і А.П.Лісіцина [11].

Таблиця 1

Усереднений гранулометричний склад донних відкладів 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

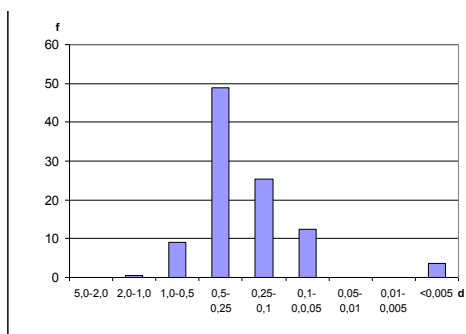
В якості основного показника гранулометричного складу прийняті вміст переважаючої фракції. Треба зазначити, що класифікації сучасних (як і древніх) осадових порід по гранулометричному складу базуються на кількісній оцінці переважаючої фракції. Згідно з роботою [11], числові межі між окремими типами осадків прийняті по десятичній системі: наприклад, розмірність зерен піску – від 1,0 до 0,1 мм, алеврита – від 0,1 до 0,01 мм та ін.

Наведені в табл. 1 дані по гранулометричному складу відібраних проб показали, що переважаючими є піщані осадки, так звані псаміти, які, в свою чергу, представлені пісками крупними, середніми і мілкими, склад яких, в межах зазначеної групи осадків, змінюється так: 6,29 %, 30,50 %, 43,47 %, відповідно. Алевритові осадки в отриманих пробах помічені скрізь тільки як алеврити крупні (0,10–0,05 мм) – 15,25 %, на відміну від мілкоалевритових мулів (0,1–0,01 мм; табл. 1) – 0,30 %. Глинисті осадки (пеліти) представлені в усіх зазначених пробах глинистими мулами (<0,005 мм) – 3,25 %; алеврито-глинисті мули (0,01–0,005 мм) виявлені тільки в донній пробі з оз. Алмазне (т. 4) і складають лише 0,06 %.

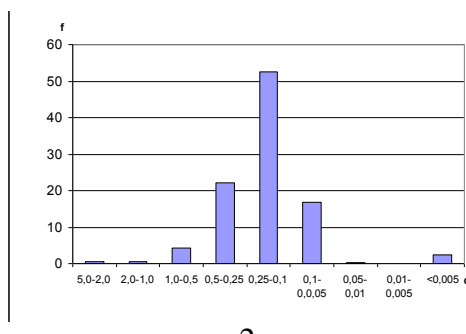
Грубоуламкуваті осадки (псафіти) відмічені в усіх пробах, за винятком донних відкладів з оз. Нижній Тельбін (т. 7).

Для запису наглядності результатів механічного аналізу використан графічний метод: по даним табл. 1 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. Враховуючи задачу графічного методу (його наглядність), можна сказати, що діаграми

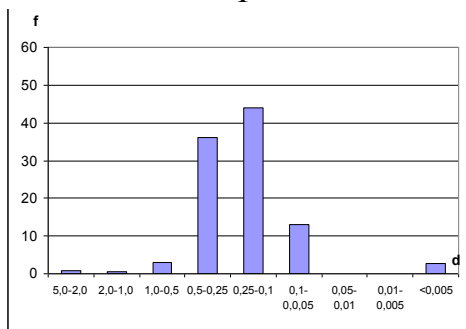
гранулометричного складу підтверджують дані табл. 1: основною фракцією, яка представлена в усіх пробах, є піщана.



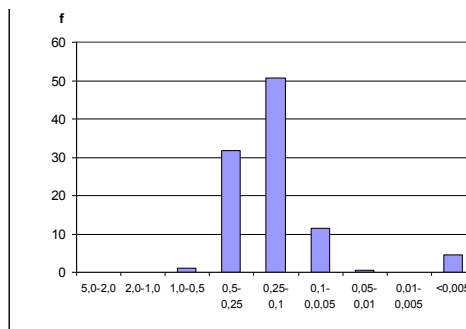
1



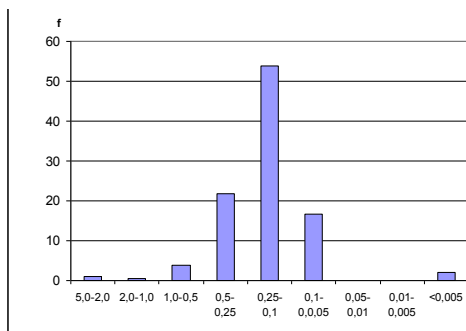
2



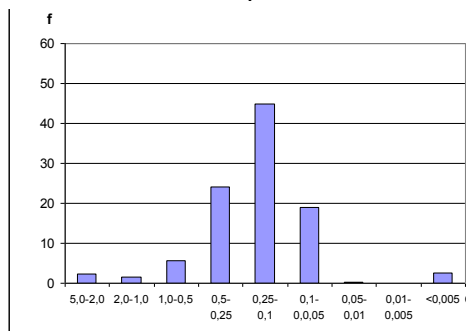
3



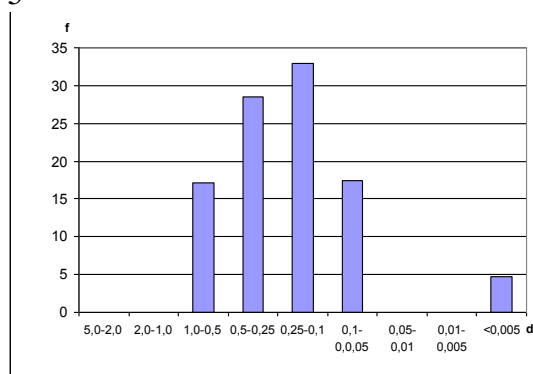
4



5



6



7

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

Спектральний аналіз донних осаdkів виявив ступінь забруднення їх важкими металами. Забрудненими на нікель, кобальт, хром, мідь, свинець, цинк, та деякі 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  $1000 \text{ мг/дм}^3$ . По фракціям для цих озер максимальна величина його досягає  $100 \text{ мг/дм}^3$  (фракція  $<0,10 \text{ мм}$ ) і  $350 \text{ мг/дм}^3$  (фракції  $2,0\text{--}1,0 \text{ мм}$  і  $5,0\text{--}2,0 \text{ мм}$ ). Максимальний вміст кобальту в оз. Кирилівське ( $30 \text{ мг/дм}^3$ ) в 10 раз перевищує фон ( $4,0 \text{ мг/дм}^3$ ) і відноситься 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 по фракціям в усіх приведених пробах коливається від  $5,0 \text{ мг/дм}^3$  (оз. Лісове і оз. Алмазне у фракціях  $0,25\text{--}0,1 \text{ мм}$  і  $0,5\text{--}0,25 \text{ мм}$ ) до  $500 \text{ мг/дм}^3$  (оз. Мінське), що перевищує фонове значення ( $29,2 \text{ мг/дм}^3$ ) майже у 25 раз. Забрудненість міддю значна: максимальне валове значення значно перевищує фон ( $24,2 \text{ мг/дм}^3$ ), по фракціям: максимальне значення ( $10000 \text{ мг/дм}^3$ ) отримано в пробі донних відкладів в оз. Мінське (фракція  $2,0\text{--}1,0 \text{ мм}$ ); показник забрудненості міддю в  $5000 \text{ мг/дм}^3$  (фракція  $5,0\text{--}2,0 \text{ мм}$ ) 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) в сотні раз; максимальний вміст свинцю –  $6000 \text{ мг/дм}^3$ , цинку –  $5000 \text{ мг/дм}^3$ . Дуже забруднені цинком донні відклади оз. Мінське (валове значення –  $6960 \text{ мг/дм}^3$ ) і оз. Нижній Тельбін. (валове значення –  $13250 \text{ мг/дм}^3$ ). Максимальне значення цинку ( $5000 \text{ мг/дм}^3$ ) в пробі з оз. Мінське (т. 2) у фракції  $2,0\text{--}1,0 \text{ мм}$ . 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  $0,5\text{--}0,25 \text{ мм}$ ;  $2750 \text{ мг/дм}^3$  – фракція  $1,0\text{--}0,50 \text{ мм}$ .

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

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

Згідно результатів спектрального аналізу донних відкладів (по фракціям) в поверхневих водах території м. Кисва розрахован процентний 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  $1,0\text{--}0,5 \text{ мм}$  із оз. Алмазне і фракцій  $0,5\text{--}0,25 \text{ мм}$  і  $1,0\text{--}0,5 \text{ мм}$  з озер Кирилівське і Мінське. В усіх досліджуваних пробах виявлен великий вміст цинк. у, який, як відмічено вище, суттєво перевищує фон і тільки в оз. Лісове (т. 5;

фракції 0,25–0,1 мм, 0,5–0,25 мм, 1,0–0,25 мм), оз Алмазне (т. 4; фракції від 1,0 мм до <0,1 мм), озера Кирилівське і Мінське (т. 1, т. 2; фракції від 2,0 мм до 0,1 мм) і оз. Святошинське (т. 3; фракції 0,25–0,1 мм і 1,0–0,5 мм) його не виявлено.

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

**Висновки.** Проведений гранулометричний аналіз проб донних відкладів території Київської агломерації виявив, що вони представлені всіма групами осадків: псефітами, псамітами, алеврітами і пелітами, але в різній кількості. Найбільш поширені піщані осадки (псаміти), на долю яких припадає 80,2 %; на алевріти, пеліти і псефіти припадає 15,4 %, 3,2 % і 1,2 %, відповідно.

Аналізуючи дані гранулометричного складу донних відкладів, встановлено, що забруднюючими є всі досліджувані елементи, за винятком кадмію, незначна кількість котрого виявлена тільки в пробах з оз. Нижній Тельбін.

Розглянуті закономірності розподілу важких металів в осадових відкладах Київської агломерації.

Результати спектрального аналізу показали, що найбільш забрудненими є осадки з озер Мінське і Нижній Тельбін.

Таким чином, досліджені донні відклади є в основному забрудненими важкими металами і потребують заходів по їх очищенню.

### **Бібліографічні посилання**

1. **Вернадский В.И.** Геохимическая классификация природных вод. Доклад на заседании Всесоюзного минералогического общества // Природа. М.: 1929. – № 9. – С. 735–758.
2. **Кленова М.В.** Отчет о работе по механическому анализу. Бюлл. ГОИН, I, – 1931.
3. **Кленова М.В.** Классификация современных морских осадков. Изв. АН СССР, сер. геол. – М.: 1954. – С. 51–71
4. **Наливкин Д.В.** Учение о фациях. Т. I. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 546 с.
5. **Страхов Н.М.** К вопросу о классификации осадков современных морей и озер малой минерализации АН. – М.: Изв. АН СССР, сер. геол. – 1953. – № 3 – С. 12 – 36.
6. **Страхов Н.М. и др.** Образование осадков в современных водоемах. Ин-т геол. наук. – М.: Изд-во СССР, 1954. – 792 с.
7. **Барщевский Н.Е., Купраш Р.П., Швыдкий Ю.Н.** Геоморфология и рельефообразующие отложения района г. Киева. – 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. – Л.: Недра. – 1990. – 328 с.
11. **Безруков П.Л., Лисицын А.П.** Классификация осадков современных морских водоемов. Тр. Института океанологии. Т. XXXII, – М.: 1960. – С. 3–14.
12. **Люта Н.Г.** Екологічний стан довкілля та Європейські перспективи України // Мінеральні ресурси України. – 2011. № 1. – С. 6–11.

*Надійшла до редколегії 27.03.13.*