

УДК 504.45:551.312.3:574.64

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, Залеський І. І., к.геогр.н., доцент, Бєдункова О. О., к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДОННИХ ВІДКЛАДАХ РІЧКИ УСТЯ

Проведено оцінку екологічного стану донних відкладів р. Устя за вмістом важких металів, емісія яких має місце в межах басейну на сучасному етапі. Рівень техногенного навантаження, оцінений за показником сумарного забруднення донних відкладів важкими металами виявився «слабким» при вмісті токсичних елементів «слабо підвищений». При цьому, в ряду небезпеки забруднення донних відкладів як відносно фонових значень, так і відносно санітарно-гігієнічних критеріїв першість мали такі елементи, як цинк, свинець, мідь. З'ясовано, що в сучасний період осади р. Устя відіграють роль акумулятора продуктів антропогенезу на фоні геохімічних аномалій окремих елементів.

Ключові слова: донні відклади, важкі метали, рівень забруднення, техногенне навантаження.

Одним з найбільш об'єктивних і надійних показників стану забруднення водного середовища та загального рівня техногенного навантаження на нього є вміст забруднюючих речовин у донних відкладах (ДВ). Вони формуються в результаті седиментації завислого у воді матеріалу і його взаємодії з водною фазою й акумулюють в собі солі винесених поверхневими водами забруднюючих речовин, продуктів вітрової ерозії ґрунтів, важких сполук, що утворюються в приземній атмосфері, а також тверду фазу промислових та побутових стоків [1-3].

Тому будь-які зміни антропогенного навантаження в межах водозборів, що тягнуть трансформацію екосистемних зв'язків, викликають незворотні зміни в будові і складі ДВ [4].

Найчутливішим середовищем для накопичення хімічних елементів виявляється їх тонкодисперсна алювіальна фракція [5]. З одного боку, це сприяє самоочищенню водного середовища, оскільки акумулюються різні екотоксиканти, з іншого – є джерелом вторинного забруднення водойм та індикатором динаміки антропогенезу [6].

Мета наших досліджень полягала в проведенні якісної оцінки

вмісту важких металів у донних відкладах р. Устя за допомогою різних екологічних методик для з'ясування геохімічних характеристик річки, внаслідок антропогенної трансформації басейну.

Басейн малої річки Устя охоплює північні схили Рівненського лесового плато, у субмеридіальному спрямуванні його перетинає Волино-Подільська височина, а на межі з Волинським Поліссям річка впадає в р. Горинь. За територіально-адміністративним районуванням басейн річки розміщений в межах Рівненської області. У верхній частині, до м. Здолбунів, домінують агроландшафти, нижче за течією переважає Рівненсько-Здолбунівська житлово-промислова агломерація. Верхня та центральна частини басейну потрапляють до зони впливу підприємств хімічної промисловості ПАТ «Рівнеазот» та ПАТ «Волинь-Цемент», а нижня до впливу деревообробного комбінату ООО «Одек Україна».

Оцінку стану ДВ р. Устя проводили в літню межень 2015 р. Вивчався гранулометричний склад донних відкладів, їхня речовинна складова, що вважається важливим показником, який визначає характер осадо накопичення та депонування забруднюючих речовин.

Точки відбору проб ДВ знаходились на глибині 80-150 см, у місцях акумуляції наносів. Для відбору проб використовувався пластмасовий пробовідбірник оригінальної конструкції. З метою згладжування локальних значень вмісту мікрокомпонентів кожний відбір складався з 4-5 проб загальною вагою 250-300 г. Проби упаковувались у поліетиленові мішки, герметизувались і в природному стані відправлялись в лабораторію. Крок опробування відповідав місцям розміщення контрольних пунктів (к.п.), які встановлювали залежно від геоморфологічних особливостей долини та характеру антропогенного навантаження (табл. 1).

Оцінка екологічного стану ДВ р. Устя проводилась за результатами спектрального аналізу (ААС "Семі-600") повітряно-сухих зразків мулистої фракції відібраних проб. Всього було відібрано та проаналізовано 109 проб донних відкладів [7].

Аналізувався вміст важких металів, емісія яких має місце в межах басейну річки внаслідок надходження відходів виробництв, автотранспорту, стічних вод та сільськогосподарського використання території: Pb, Mn, Co, Cu, Zn та Cd.

Таблиця 1

Місце розміщення та характер антропогенного навантаження у контрольних пунктах

№ к.п.	Місце розміщення	Відстань від гирла, км	Характер антропогенезу
1	західна околиця с. Івачків	65	(верхів'я річки, природний фон)
2	нижче м. Здолбунів	40	вплив скиду стічних вод
3	в межах міста Рівне, 100 м нижче дамби оз. Басів Кут	25	контрольний пункт нижче дамби Басівкутського водосховища
4	в межах міста Рівне, в районі центрального міського ринку	19,5	вплив скиду каналізаційних стічних вод м. Рівне
5	розширена ділянка річки в межах м. Рівне	18	вплив скиду каналізаційних стічних вод м. Рівне
6	с. Оржів, поблизу впадіння в р. Горинь	0,1	контрольний пункт у гирлі

Оцінку токсичного забруднення ДВ р. Устя проводили за результатами розрахунку сумарного показника забруднення [8]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1), \quad (1)$$

де Z_c – сумарний показник забруднення; K_c – кратність перевищення фактичного вмісту хімічної речовини в ДВ його середньої фонові концентрації в басейні [9], або граничнодопустимої концентрації для ґрунту [8]; n – загальна кількість забруднюючих речовин, що контролюється. За показником Z_c судили про інтегральний рівень забруднення ДВ (табл. 2).

Для визначення ступеня забруднення ДВ важкими металами скористались «ігео-класами», або «індексами геоаккумуляції» за Г. Мюллером [10] згідно рівняння:

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1,5 \cdot B_n), \quad (2)$$

де I_{geo} – індекс геоаккумуляції; C_n – виміряна концентрація елементу n у донних відкладах (фракції менше 0,020 мм); B_n – геохімічна фонові концентрація елементу n (визначається за даними спеціальних регіональних досліджень), множення її на коефіцієнт 1,5 проводить-

ся для врахування природних флуктуацій.

Таблиця 2

Орієнтовна шкала оцінки стану водойм за показником сумарного забруднення ДВ

Z_c токсичних елементів у донних відкладах	Рівень забруднення	Вміст токсичних елементів
10	Слабкий	Слабо підвищений відносно фону
10 – 30	Середній	Підвищений відносно фону, епізодичне перевищення ГДК
30 – 100	Сильний	Значно вище фону, стабільне перевищення окремими елементами рівнів ГДК
>100	Дуже сильний	Практично постійна присутність багатьох елементів у концентраціях вище ГДК

За отриманими значеннями I_{geo} , встановлювали класи якості ДВ, що дозволило оцінити екологічний стан досліджуваної річки за вмістом окремих токсичних елементів (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика рівнів забруднення ДВ за ігео-класами та техногенним навантаженням на водні екосистеми

Ігео клас	Рівень забруднення важкими металами донних відкладів	Техногенне навантаження на гідроекосистеми	Екологічна зона гідроекосистеми. Клас стану донних відкладів
0	Незабруднені	Слабке (мало небезпечне)	Зона норми. Задовільний (сприятливий стан)
1	Незабруднені-помірно забруднені		
2	Помірно забруднені	Помірне (помірно небезпечне)	Зона ризику. Несприятливий стан
3	Середньо забруднені		
4	Сильно забруднені	Суттєве (небезпечне)	Зона кризи. Дуже несприятливий стан
5	Сильно забруднені-надзвичайно, забруднені		
6	Надзвичайно забруднені	Посилене (надзвичайно небезпечне)	Зона лиха. Катастрофічний стан

Отримані результати наносили на картосхему басейну р. Устя.

Математичне та графічне опрацювання експериментальних даних проводили в рамках програмних пакетів Excel-2010, MS Word-2010 та Statistica 8.0.

Вивчення вмісту важких металів у ДВ р. Устя (рис. 1) показало, що максимальний вміст серед шести токсичних елементів у період спостережень був характерним для Mn.

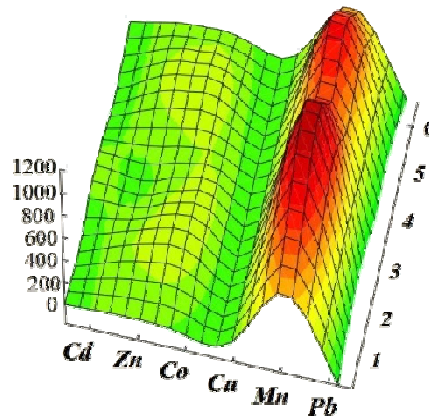


Рис. 1. Вміст важких металів у донних відкладах р. Устя в контрольних пунктах спостережень

Зокрема, у верхній частині його концентрація становила 740 мг/кг у контрольному пункті № 1. Вдovж наступних ділянок річки концентрація марганцю коливалась від 700 до 1200 мг/кг.

Особливу увагу звертає на себе той факт, що концентрація Mn після дамби Басівкутського водосховища (к.п. № 3) не понижувалась, а навіть дещо зростала. Очевидно, властивість марганцю зв'язуватись з іонами кальцію та заліза і осідати на дно у вигляді складних суспензій при замуленні прісноводних водойм є доказом того, що Басівкутське водосховище втрачає очисну функцію для річки внаслідок активної урбанізації водозбору, забруднення екосистеми та осадонакопичення.

У к.п. № 3 спостерігається і дещо підвищений вміст Cu (з 123 до 131 мг/кг), що є ще одним доказом змін у функціонуванні Басівкутського водосховища та втрати його самоочисної функції.

Концентрація цинку змінюється має помітне зростання у к.п. № 5 (з 72 до 144 мг/кг), що, очевидно, пов'язане з впливом урбанізованої території на екосистему річки.

У змінах вмісту Pb в осадах р. Устя також простежується залежність від рівня антропогенного навантаження на різних ділянках русла. Найнижча концентрація Pb відмічалась лише у к.п. № 1 (11 мг/кг), на решті ділянок водотоку зростала, не знижуючись навіть після Басівкутського водосховища (28 мг/кг), а максимальних значень сягала у к.п. № 5 (39 мг/кг). Ймовірно, на сучасному етапі свинець, що здатен утворювати сполуки в кислих водах за окислювальних і глеєвих умов та осідати на лужному геохімічному бар'єрі депонується у ДВ р. Устя внаслідок замулення русла. Крім того, Pb активний мігрант, якому не властиве біогенне накопичення, що сприяє його осіданню з поверхневих вод, куди він потрапляє в основному з поверхневим стоком урбанізованих частин водозбору річки.

Концентрація Co, який серед водних мігрантів відноситься до групи малорухомих, у к.п. № 1 (поблизу витоків) сягала до 11 мг/кг; у к.п. № 2 (м. Здолбунів) до 19 мг/кг; у к.п. № 3 (дамба водосховища) з до 17 мг/кг; у к.п. № 4 та № 5 (м. Рівне) до 15 мг/кг та до 18 мг/кг відповідно; у к.п. № 6 (гирло річки) до 9 мг/кг.

Вміст Cd виявився найменшим серед решти елементів. Зокрема, в межах м. Рівне його вміст сягав 0,3 мг/кг як після дамби так і на розширеній ділянці річки. В межах м. Здолбунів його концентрація становила 0,4 мг/кг. Аналогічно свинцю, кадмій легко мігрує в кислих водах за окислювальних та глеєвих умов, випадає в осад на лужному геохімічному бар'єрі та не здатен до біогенного накопичення. Отже, збільшення ділянок його фіксації у ДВ р. Устя можна розцінити як тенденцію негативних змін водної екосистеми, спричинених забрудненням поверхневих вод та замуленням русла.

Зауважимо, що внаслідок уповільненої течії річки не відбувається активного зносу зважених часток, який би сприяв пониженню концентрацій важких металів у поверхневих водах та, у свою чергу, перешкоджав замуленню русла та акумуляції токсичних елементів у ДВ.

Аналіз змін показника сумарного забруднення ДВ (Z_c) р. Устя має певні відмінності відносно середніх фонових значень елементів та відносно ГДК хімічних речовин у ґрунтах (табл. 4).

Так, розрахунки показника Z_c дозволили відстежити, що порядок розташування елементів відносно фонових значень має вигляд: Co (4,24), Cu (4,07), Pb (2,82), Zn (2,81), Mn (1,95), Cd (0,67); а відносно санітарно-гігієнічних критеріїв: Cu (4,46), Co (4,24), Zn (2,28), Pb (3,01), Mn (2,03), Cd (0,67). Проте, всі отримані результати розрахунків, дозволяють відзначити, що сумарний рівень забруднення ДВ р. Устя характеризується як «слабкий», а вміст токсичних елементів

«слабо підвищений».

Таблиця 4

Результати розрахунку сумарного показника забруднення ДВ (Z_c)

№ к.п.	Кратність перевищення фактичного вмісту елементів*						Z_c
	Pb	Mn	Co	Cu	Zn	Cd	
1	1,16	1,57	3,14	1,13	1,77	0,00	1,75
	1,24	1,64	3,14	1,24	2,07	0,00	1,87
2	3,05	2,34	5,43	6,31	4,06	1,6	4,56
	3,26	2,44	5,43	6,91	4,73	1,60	4,87
3	2,95	2,55	4,86	6,72	2,29	1,20	1,87
	3,15	2,67	4,86	7,36	2,67	1,20	4,38
4	2,95	1,7	4,29	4,00	2,06	0,00	3,00
	3,15	1,78	4,29	4,38	2,4	0,00	3,20
5	4,11	2,02	5,14	4,36	4,11	1,20	4,19
	4,38	2,11	5,14	4,78	4,80	1,20	4,48
6	2,74	1,49	2,57	1,9	2,57	0,00	2,25
	2,92	1,56	2,57	2,08	3,0	0,00	2,43

Примітка: у чисельнику – відносно середніх фонових значень елементів у басейні р. Устя; у знаменнику – відносно ГДК хімічних речовин у ґрунтах за період

Існує думка, що об'єднання хімічних елементів у групи для оцінки їх сумісної дії необхідно проводити на підставі подібності їх властивостей або токсикологічної шкідливості для живих організмів. Проте, на тепер це питання вивчене недостатньо та потребує постановки спеціальних досліджень. Саме тому, для отримання уявлення забруднення ДВ окремими важкими металами користуються «індексами геоаккумуляції» токсичних елементів.

Розрахунки останніх дозволили отримати характеристику рівнів забруднення та техногенного навантаження на р. Устя. Для покращення візуального сприйняття інформації, отримані результати представлено у вигляді картосхем забруднення донних відкладів р. Устя важкими металами (рис. 2).

Так, за вмістом Pb донні відклади р. Устя мали переважно другий іgeo-клас (помірно забруднені, помірне техногенне навантаження), за виключенням к.п. № 1 та к.п. № 6, де іgeo-клас був нульовим та першим відповідно (незабруднені, слабке техногенне навантаження). За вмістом Mn ДВ відносились до п'ятого іgeo-класу у к.п. №№ 1, 4, 6 та до шостого в к.п. №№ 2, 3, 5 (сильно забруднені при

суттєвому техногенному навантаженні та надзвичайно забруднені при посиленому навантаженні відповідно).

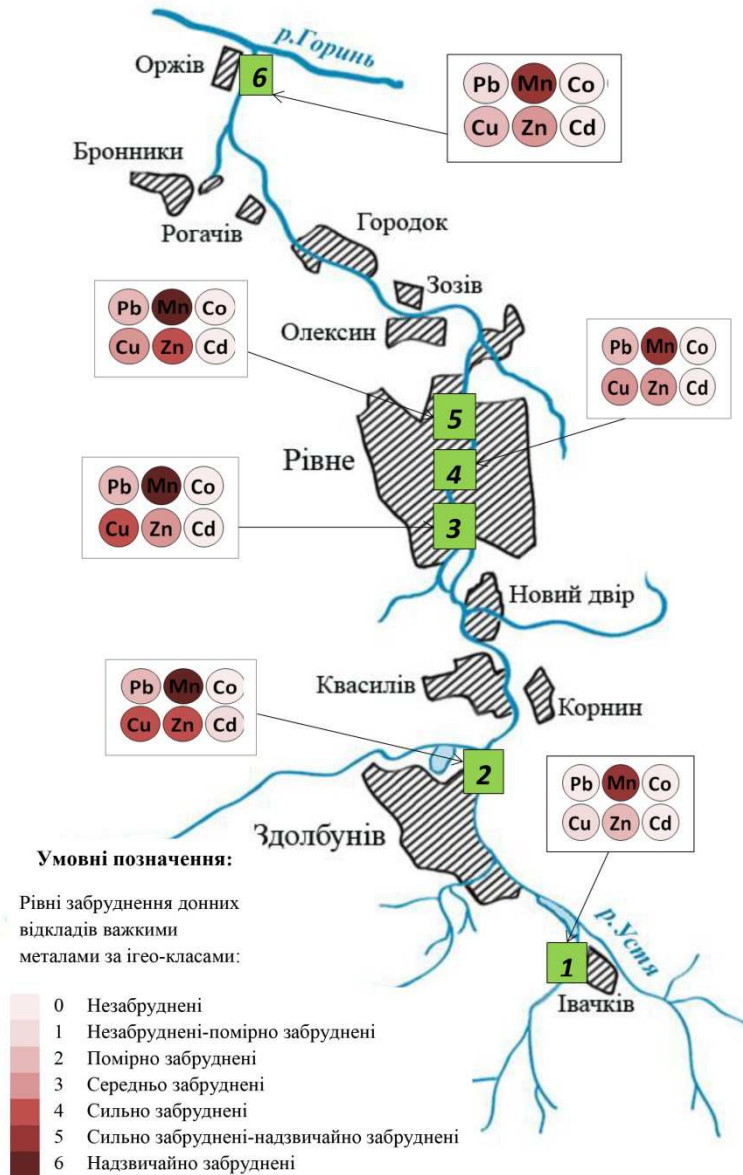


Рис. 2. Карто-схема рівнів забруднення донних відкладів р. Устя важкими металами за ігео-класами, (Muller, 1979), 2015 р.

Четвертий ігео-клас фіксувався за вмістом Cu в к.п. № 2 та № 3 і за вмістом Zn в к.п. № 2 та № 5 (сильно забруднені при суттєвому техногенному навантаженні). Третій ігео-клас мали ДВ річки за вмістом Cu у к.п. № 4 та № 5 і за вмістом Zn у к.п. №№ 3, 4, 6 (середньо забруднені при помірному техногенному навантаженні). Поблизу витоків

річки, в к.п. № 1 за вмістом міді та цинку ДВ характеризувались першим (до помірно-забруднених при слабкому техногенному навантаженні) та другим ігео-класом (помірно-забруднені при помірному техногенному навантаженні) відповідно. У гирлі р. Устя вміст Cu відносив ДВ до другого, вміст Zn до третього ігео-класу.

За вмістом Co та Cd осади р. Устя відповідали нульовому ігео-класу по всьому руслу річки, за виключенням вмісту Cd у к.п. № 2 (м. Здолбунів). У цьому ж пункті, відмічався найгірший стан ДВ за вмістом Cu, що відносився до третього ігео-класу (середньо забруднені з помірним техногенним навантаженням). У к.п. № 5 (розширена ділянка в межах м. Рівне) вміст міді мав другий ігео-клас, у к.п. № 3 (після дамби) нульовий, на інших ділянках русла перший ігео-клас.

Отже, техногенне навантаження на р. Устя, оцінене за вмістом важких металів, є відносно послабленим лише на ділянці річки поблизу витоків.

Решта ділянок русла річки зазнає погіршення стану ДВ, що особливо помітно в межах урбанізованих територій за вмістом таких елементів як Mn, Cu, Zn та Pb. Доказом посилення негативного впливу на гідроекосистему є помітне зростання концентрацій металів у осадах після дамби Басівкутського водосховища.

Необхідно зазначити, що у ДВ верхньої частини річки надзвичайно високий вміст характерний для Mn. Його значні концентрації спостерігаються і в осадах вздовж усього русла. Очевидно, тут мають місце геохімічні особливості басейну річки, хоча існує імовірність того, що погіршення стану ДВ річки за вмістом Mn відбувається під дією антропогенних факторів.

Результати аналізу якісних характеристик донних відкладів малої річки Устя дозволили узагальнити наступне:

1. У верхній частині річки мають місце геохімічні аномалії вмісту Mn, що зберігаються вздовж усього русла. У середній течії, в межах урбанізованих територій особливо помітно підвищуються концентрації Cu, Zn та Pb.

2. Рівень техногенного навантаження, оцінений за показником сумарного забруднення ДВ важкими металами виявився «слабким» при вмісті токсичних елементів «слабо підвищений». При цьому, в ряду небезпеки забруднення ДВ як відносно фонових значень, так і відносно санітарно-гігієнічних критеріїв (ГДК) першість мають такі елементи, як Zn, Pb та Cu.

3. Рівень забруднення ДВ за ігео-класами виявляє переважно «суттєве» і «посилене» навантаження на різних ділянках річки за вмістом Mn (5-6 класи); за вмістом Cu та Zn від «слабкого» до «суттє-

вого» (2-4 класи); за вмістом Pb «помірне» (2 клас); вміст Co та Cd характеризує техногенне навантаження на гідроекосистему як «слабке» (0-1 класи).

4. Використані методики оцінки дозволили відстежити різні аспекти в характері забруднення ДВ важкими металами та з'ясувати, що в сучасний період осади р. Устя відіграють роль акумулятора продуктів антропогенезу на фоні геохімічних аномалій окремих елементів.

1. Ржаницын Н. А. Руслоформирующие процессы рек / Ржаницын Н. А. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 263 с. 2. Особливості формування сучасного еколого-токсикологічного стану водойм урбанізованих територій та його можливі зміни / О. М. Арсан, Ю. М. Ситник, Л. О. Горбатюк, М. О. Миронюк, О. О. Пасічна, М. О. Платонов, Т. М. Шаповал, І. Г. Кукля // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2010. – № 2 (43). – С. 14–17. 3. Андрусишин Т. Сезонна динаміка вмісту важких металів у воді та донних відкладах річки Збруч / Т. Андрусишин, В. Грубінко // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. – 2012. – Випуск 58. – С. 165–174. 4. Левинский В. В. Закономерности накопления и распределения тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги. Диссертация на соиск... канд. техн. н., спец. 25.00.36 – геоэкология / Левинский В. В. – Тверь, 2002. – 175 с. 5. Линник П. М. Десорбція молібдену з донних відкладів за впливу різних концентрацій фульвокислот та рочиненого у воді кисню / Линник П. М., Ігнатенко І. І. // Наук. праці УкрНДГМІ, 2006. – Вип. 255. – С. 104–112. 6. Зубко О. В. Вплив різних чинників на міграцію Zn та Pb у системі “донні відклади-вода” / Зубко О. В., Линник П. М. // Наук. праці УкрНДГМІ, 2004. – Вип. 253. – С. 205–218. 7. ДСТУ ISO 5667-12-2001 Якість води. Відбирання проб. Частина 12. Настанови щодо відбирання проб донних відкладів (ISO 5667-12:1995, IDT). 8. ДСанПіН 2.2.7.029-99 Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення. 9. Клименко М. О. Екогеохімічний стан донних відкладів Річки Устя / Клименко М. О., Залеський І. І. // Науковий збірник «Гідролгія, гідрохімія та гідроекологія». – № 18. – 2010. – С. 187–191. 10. Muller G. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seitt / Umschan. 1979., № 79. – P. 329–352.

Рецензент: д.с.-г.н, професор Вознюк С. Т. (НУВГП)

**Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Zaleskyi I. I., Candidate of Geographical Sciences, Associate
Professor, Biedunkova O. O., Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor (National University of Water and Environmental
Engineering, Rivne)**

SPATIAL DISTRIBUTION OF QUALITY CHARACTERISTICS OF HEAVY METALS CONTAMINATION IN THE DENIAL DEPOSITS OF THE RIVER USTIA

The ecological state of the bottom sediments of the river Ustyа on the content of heavy metals was estimated. The level of anthropogenic impact, measured in terms of total pollution of bottom sediments with heavy metals was "weak" in the content of toxic elements "slightly elevated". However, among the dangers of contamination of bottom sediments as the relative background values and relatively hygienic criteria had primacy elements such as zinc, lead, copper. It has been established that in the present period the precipitation of the river Ustyа plays the role of a battery of anthropogenesis products against the background of geochemical anomalies of individual elements.

Keywords: bottom sediments, heavy metals, pollution level, anthropogenic impact.

Клименко Н. А., д.с.-х.наук, профессор, Залесский И. И., к.геогр.н., доцент, Бедункова О. А., к.с.-х.н., доцент
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕЧКИ УСТЯ

Проведена оценка экологического состояния донных отложений р. Устя по содержанию тяжелых металлов. Установлено, что в современный период осадки р. Устя играют роль аккумулятора продуктов антропогенеза на фоне геохимических аномалий отдельных элементов.

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, уровень загрязнения, техногенная нагрузка.
