УДК 504.4.054:556.116:551.352:550.42

# ПРИМЕСИ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ: ИХ СОДЕРЖАНИЕ И ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫЙ ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ

**© 2002 А.Е.Васюков***

По результатам анализа содержания металлов в пробах донных отложений (ДО) из водотоков днепровского бассейна предложена принципиальная схема формирования материального баланса ДО за счет продукции разрушения почв и пород, продукции внутриводоемных процессов и осадков сточных вод. Рассмотрены основные закономерности распределения и содержания металлов в ДО в сопоставлении со стандартной шкалой - значениями кларков металлов для почв мира. Отклонения от шкалы могут быть объяснены доминированием в ДО природной или техногенной составляющими.

Донные отложения являются компонентом поверхностного водного объекта и благодаря своей депонирующей способности играют существенную роль в обеспечении экологической устойчивости водных экосистем. Их химический состав отражает как геологические особенности района, так и наличие в нем антропогенных нагрузок. Поэтому не случайно, что полученные данные о содержании металлов в пробах ДО, отобранных из многочисленных водных объектов, достаточно противоречивы (табл.1). Использование при этом различных аналитических методик также влияет на размах полученных результатов. И все же, опираясь на мысль В.И. Вернадского о том, что явления жизни и явления мертвой природы являются проявлением одного процесса – круговорота энергии и вещества в природе [15], можно предположить, что этот процесс влияет на формирование ДО в поверхностных водных объектах и определяет, вероятно, качественное и количественное содержание металлов в ДО.

Формирование ДО является индивидуальным, но некоторые общие закономерности для большинства водных объектов зафиксированы [16,17,18]. Это дает возможность построить принципиальную схему формирования ДО поверхностного водного объекта и оценить вклад каждой составляющей ДО в общую массу металлов (рис.1). Среди аллохтонных материалов, которые накапливаются на дне водного объекта в результате поступления их извне, доминирует продукция разрушения почв и пород. Эта продукция образуется практически круглый год в результате склоновой и русловой эрозии и она является основной составляющей, как правило, более 90% в материальном балансе ДО. Вклад осадков сточных вод в материальный баланс ДО определяется количеством и качеством хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, сбрасываемых в водный объект. Среди аллохтонных материалов необходимо учитывать и атмосферные осадки, которые являются элементом круговорота энергии и вещества на земле.

Автохтонные отложения образуются из материала, который имеется или продуцируется в самом водном объекте, а не поступает в него извне. Он образуется большей частью за счет жизнедеятельности растительных и животных организмов, и на отдельных участках дна водного объекта его биомасса в ДО, в зависимости от интенсивности протекания продукционно-деструкционных процессов, может в значительной степени определять состав ДО.

Цель настоящей работы – на основании значительного массива данных о содержании металлов в различных объектах природного и техногенного происхождения, полученного с использованием атомно-абсорбционных методик, показать, что содержание металлов в ДО поверхностных водных объектов определяется одним процессом, связанным с круговоротом энергии и вещества в природе.

## Экспериментальная часть

Пробы ДО отбирали во время проведения Первой Украинско-Канадской экспедиции по р. Днепр. Гидрохимическая характеристика проб воды, отобранных параллельно с проба-

* *Институт монокристаллов НАНУ, г.Харьков*

ми ДО, была представлена ранее [19]. Пробы ила отбирали на очистных сооружениях (ОС) г. Измаила, а пробы осадков сточных вод на ОС г. Кривой Рог. Отобранные пробы ДО, илов и осадков просушивали на воздухе, измельчали в фарфоровой ступке, просеивали через сито с размером ячейки 1 мм и высушивали при 105 °С. Пробы представителей фитоценоза, биомассой 100-500 г сырого вещества, отбирали во время проведения натурных исследований на водных объектах, примыкающих к Запорожской АЭС. Отобранные пробы высушивали при 105 °С. Далее пробоподготовку проводили по одному из вариантов метода «мокрого сжигания». Навеску каждой пробы массой 0.5 г помещали в термостойкий стакан, смачивали дистиллированной водой, добавляли 5 см$^3$ концентрированной (50%) $HNO_3$ марки о.с.ч., и специально проверенной на содержание исследуемых металлов. Содержимое стакана доводили до кипения на электрической плитке и кипятили 10-15 минут. Пробу охлаждали и пипеткой по каплям добавляли 2 см$^3$ $H_2O_2$ при постоянном перемешивании. Стакан помещали на электроплитку, раствор доводили до кипения и кипятили 10-15 минут. После охлаждения суспензию отфильтровывали в мерную колбу емкостью 50 см$^3$ через фильтр "синяя лента". Затем фильтр с осадком помещали в стакан, в котором проводили предварительные операции, добавляли 40 см$^3$ 1 моль/ дм$^3$ $HNO_3$ и кипятили 30 минут. После охлаждения содержимое стакана отфильтровывали в ту же мерную колбу. Полученный раствор в мерной колбе доводили до метки дистиллированной водой. Одновременно готовили холостую пробу без навески анализируемого материала. Концентрации металлов в полученных растворах определяли методом ААС (прибор HITACHI Z-8000)* с использованием ГСО металлов и унифицированных методик. Относительная погрешность среднего из двух параллельных определений значения массовой доли металлов в ДО, илах и осадках не превышает 23-45% при P=0.95.

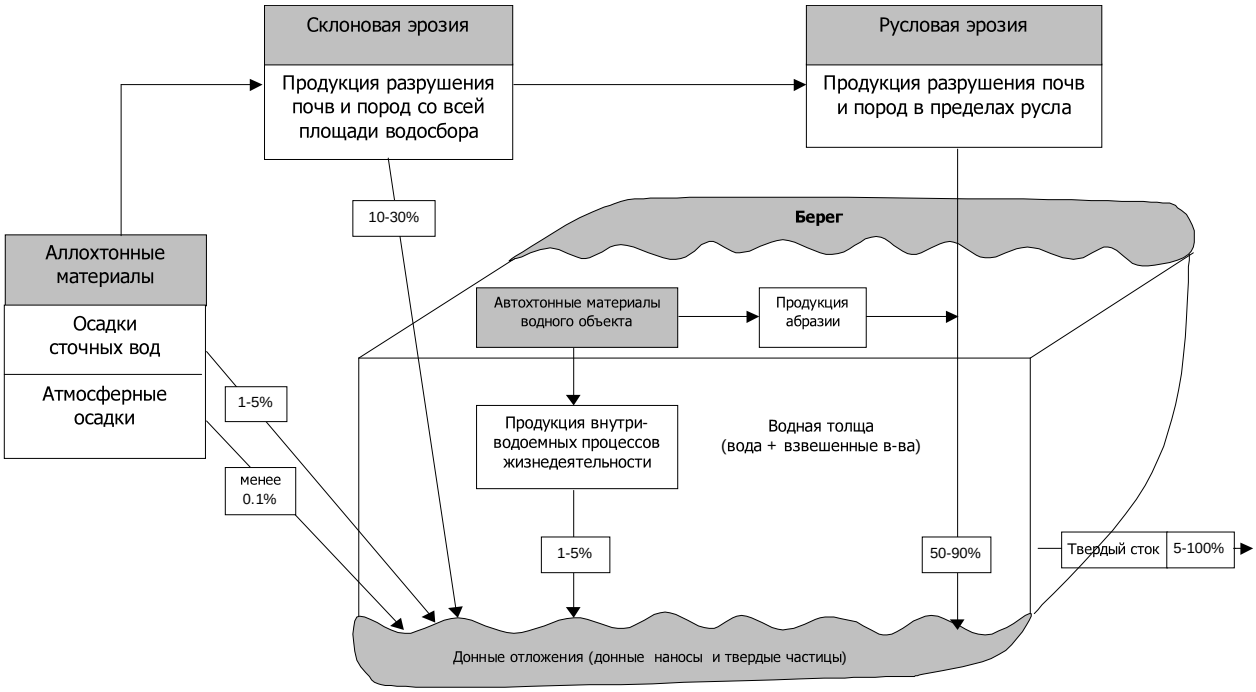


Рис.1. Принципиальная схема формирования донных отложений поверхностного водного объекта.

## Результаты и их обсуждение

Полученные результаты анализа 21-й пробы ДО (табл.2) при первом рассмотрении сложно интерпретировать как единое целое, так как для большинства исследованных металлов максимальные и минимальные содержания различаются на два порядка, но если исходить из предположения, что большая часть ДО сформирована за счет почв и грунтов, в которых содержание металлов усреднено в процессе круговорота металлов в природе, то

* *Автор выражает благодарность Коваленко М.С. за участие в лабораторных исследованиях*

величины среднего содержания металлов в ДО должны быть одного порядка или близки к значениям кларков металлов для почв мира [20]. В нашем случае это наблюдается для большинства металлов (значение кларка : $C_{Me}$): Mn (850 : 643); Zn (50 : 69); Cu (20 : 14.7); Ni (40 : 22.8); Cs (5.0 : 3.6); Cr (20 : 33); Pb (10 : 12.5); Co (8 : 2,6) и Cd (0.5 : 1.3). Исключение составляют Fe (38000 : 6240) и Sr (350 : 60), что можно объяснить большей подвижностью Fe и Sr, по сравнению с другими металлами в системе вода–ДО. Это предположение для Fe подтверждается и литературными данными (табл.1), которые показывают, что только на отдельных участках водотоков содержание железа в ДО превышает его значение кларка для почв, а во всех других случаях оно значительно ниже этого значения. В то же время содержание железа во взвесях Иваньковского водохранилища колеблется в пределах 24800-66600 мг на кг прокаленной взвеси [21].

Одной из постоянной составляющей ДО являются силикаты в виде песка, массовая доля которого в ДО может варьировать в широких пределах. В процессе получения водной вытяжки из ДО с использованием указанной пробоподготовки силикаты не растворяются. Очень вероятно, что именно «разбавление» ДО песком служит одной из основных причин, определяющей большой размах результатов анализа на содержание металлов в параллельно отобранных пробах. Следовательно, содержание металлов в ДО без указания их общего состава и методики анализа не позволяет в ряде случаев объективно судить об экологическом состоянии ДО.

Для экологической оценки состояния ДО необходима качественная и количественная шкала. Качественная шкала может базироваться на оценке относительного содержания металлов в ДО. Рассмотрим это на примере данных, представленных в табл.2. Каждому металлу в каждой исследованной пробе присвоим порядковый номер по принципу от большего содержания металла к меньшему. Затем для каждого металла найдем среднее арифметическое значение порядкового номера и расположим металлы в ряд в порядке уменьшения этих средних значений. При сопоставлении полученный ряд металлов очень близок к ряду, построенному по убыванию значений кларков металлов для почв мира (табл.3).

Однозначно заняли свои первые места Fe и Mn, а на последнем месте Cd. Перестановку Zn с четвертого на третье место в ряду можно трактовать как загрязнение ДО цинком. С другой стороны, в исследованных пробах было найдено значительно меньше Sr, чем в ДО, отобранных из других водных объектов (табл.2). С учетом того, что из 21 пробы Sr третий в 11-ти, Zn четвертый в 13-ти пробах, с большей вероятностью следует говорить, что эта перестановка не закономерна, а обусловлена малой выборкой данных.

Во втором ряду выделяется положение Cs, который обошел Cu и Pb в сравнении с его положением в первом ряду (табл.3). Такое перемещение положения металла в экспериментальном ряду не на одну, а на две или более позиций влево можно условно принять значимым, и в таких случаях следует говорить о загрязнении ДО этим металлом.

На основании этого условия экспериментальные данные указывают на загрязнение ДО исследованных водотоков Cs. Анализ рядов металлов, полученных по экспериментальным данным для каждой пробы, показывает, что в 15-ти пробах из 21-й положение Cs на две и более позиций сдвинуто влево по сравнению с его положением в ряду металлов, построенному по значениям их кларков для почв мира. Таких отклонений отмечено еще десять: для Cu и Cd – в одной пробе ДО, Co и Cr – в трех, Pb – в четырех.

Полученная «рядовая» оценка качества ДО в сравнении с рядом значений кларков металлов для почв мира является качественной. Она может характеризовать как природные региональные особенности, например, наличие рудных месторождений, так и антропогенную нагрузку на водную экосистему в виде сбросов и выбросов металлов. Так региональные особенности водных объектов в нашем случае связаны с Cs, а ДО исследованных водотоков загрязнены некоторыми металлами (табл.2): р. Рось – Cu; р.р. Ольшанка и Супой – Co; р.Самоткань – Cr и Pb; р.р. Сура, Сула и Орель – Pb; р. Псел – Cr и Co; р. Ворскла – Cr и Cd.

При количественной оценке содержания металлов в ДО в качестве точки отсчета могут служить значения кларков металлов для почв мира. Если в пробе ДО преобладает продукция водной эрозии почв и пород, то содержание металлов в этой пробе должно быть близко к значениям их кларков для почв мира. На этом «почвенном» фоне содержание металлов в ДО может быть существенно больше (в нашем случае таких превышений отмечено 24: для Cd – одно, для Ni и Cs – по два, для Mn – три, для Zn, Cu, Cr, Pb – по четыре) или меньше (табл.2). Превышения значений кларков металлов для почв мира можно объяснить значительным содержанием в ДО, например, осадков сточных вод ОС.

*Таблица* 1. Данные о содержании металлов в донных отложениях некоторых водохранилищ и водотоков (мг/ кг сух.в-ва)

| Наименование объекта | | Fe | Mn | Sr | Cr | Ni | Zn | Cu | Co | Pb | Cs | Cd | Лит. ист. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Каховское в-ще | | 303 – 28160 | 73 – 1150 | не опр. | 47 – 100 | 8,4 – 734 | 25 – 636 | 11 – 450 | 2.2 – 29 | 14 – 176 | не опр. | 1.8 – 89 | [1] |
| Киевское в-ще | | 20810 | 500 | не опр. | 29 | не опр. | 113 | 21 | не опр. | не опр. | не опр. | 1.3 | [2] |
| Каневское в-ще | | 45560 | 1480 | не опр. | 75 | не опр. | 180 | 32 | не опр. | не опр. | не опр. | 1.7 | |
| Кременчугское в-ще | | 23550 | 1900 | не опр. | 42 | не опр. | 124 | 21 | не опр. | не опр. | не опр. | 1.4 | |
| Запорожское в-ще | | 3920 | 1830 | не опр. | 75 | не опр. | 175 | 49 | не опр. | не опр. | не опр. | 2.4 | |
| Каховское в-ще | | 4471 | 1810 | не опр. | 45 | не опр. | 143 | 29 | не опр. | не опр. | не опр. | 1.3 | |
| Водохранилище Южное | | 710 | 340 | не опр. | 8 | не опр. | 32 | 12 | 7.0 | 24 | не опр. | 0.8 | [3] |
| Запорожское в-ще | | 430 – 870 | 200 – 480 | не опр. | 92 – 156 | не опр. | 28 – 49 | 11 – 13 | 6.1 – 29 | 23 – 56 | не опр. | 1.2 – 3.3 | |
| Водохранилище ГРЭС-2 | | 260 | 360 | не опр. | 68 | не опр. | 19 | 70 | 6.4 | 16 | не опр. | 0.7 | |
| Карачуновское в-ще | | 650 | 440 | не опр. | 112 | не опр. | 4,9 | 10 | 5.8 | 22 | не опр. | 0.9 | |
| Сырьдарья, $x_{ср}$ | | 125000 | не опр. | 460 | 16 | не опр. | 129 | 85 | 7.2 | не опр. | 1.2 | не опр. | [4] |
| Амударья, $x_{ср}$ | | 11400 | не опр. | 620 | 18 | не опр. | 194 | 144 | 6.4 | не опр. | 1.4 | не опр. | |
| Рыбинское в-ще | | не опр. | не опр. | не опр. | 6 | 10 | 146 | 13 | 4.0 | 16 | не опр. | 0.6 | [5] |
| Куйбышевское в-ще | | 800 – 9000 | 120 – 3000 | не опр. | 1 – 149 | 1 – 38 | 5 – 95 | 1 – 57 | 0 – 12 | 0 – 22 | не опр. | не опр. | |
| Куйбышевское в-ще, $x_{ср}$ | | 4600 | 800 | не опр. | не опр. | 14 | 27 | 12 | 7 | 10 | не опр. | не опр. | |
| Куйбышевское в-ще | | 5300 – 29100 | 500 – 8500 | не опр. | 88 – 170 | 44 – 180 | 60 – 285 | 13 – 80 | 12 – 78 | 10 – 49 | не опр. | <20 – 30 | [6] |
| Днепровское в-ще | | не опр. | 400 – 3000 | не опр. | не опр. | не опр. | 60 – 300 | 30 – 70 | 8 – 70 | 30 – 100 | не опр. | 0.8 – 4 | [7] |
| Дунай | $x_{ср}$ | 24700 | 710 | не опр. | не опр. | 53 | 123 | 29 | 17 | 35 | не опр. | 1,1 | [8] |
| | размах | 1968 – 50030 | 320 – 1200 | не опр. | не опр. | 30 – 88 | 18 – 400 | 2 – 110 | 10 – 26 | 6 – 96 | не опр. | 0,6 – 2,0 | |
| Учинское в-ще, $x_{ср}$ | | 11700 | 530 | не опр. | 15 | 26 | 620 | 96 | не опр. | 16 | не опр. | 0.2 | [9] |
| Озеро Мичиган | | не опр. | не опр. | не опр. | 52 – 77 | 34 – 35 | 66 – 206 | 20 – 37 | 13 – 14 | 20 – 88 | не опр. | не опр. | [10] |
| Озеро Эри | | не опр. | не опр. | не опр. | не опр. | не опр. | 98 – 279 | 29 – 57 | не опр. | 28 – 107 | не опр. | 1.1 – 3.6 | |
| Озеро Онтарио | | не опр. | не опр. | не опр. | не опр. | не опр. | 105 – 477 | 44 – 98 | не опр. | 30 – 220 | не опр. | 1.3 – 5.1 | |
| Река Лопань | | 5300 – 22000 | не опр. | не опр. | 31 – 94 | 8 – 28 | 52 – 264 | 17 – 102 | 3 – 29 | 14 – 156 | не опр. | 1.4 – 6.2. | [11] |
| Заславское в-ще, р. Свислочи , $x_{ср}$ | | не опр. | 770 | 230 | 23 | 15 | не опр. | 18 | 6 | 19 | 1.5 | не опр. | [12] |
| Осиповичское в-ще, р. Свислочи | | не опр. | 1800 – 1900 | 260–350 | 2800 – 910 | 560 – 330 | 2800 – 870 | 1400 – 410 | 8.8 – 8.7 | 80 – 46 | 1.5 – 1.7 | не опр. | |
| Иваньковское в-ще, $x_{ср}$, n=175 | | 7150 ± 3100 | 790 ± 400 | не опр. | 119 ± 55 | 34 ± 12 | 415 ± 372 | 81 ± 108 | не опр. | 20 ± 12 | не опр. | 9.3 – 2.4 | [13] |
| Угличское в-ще, $x_{ср}$, n=149 | | 8900 ± 3600 | 1500 ± 1000 | не опр. | 94 ± 27 | 48 ± 17 | 240 ± 142 | 39 ± 27 | 47 ± 18 | 29 ± 9 | не опр. | 2.0 ± 0.7 | |
| Рыбинское в-ще, $x_{ср}$, n=52 | | 6500 ± 2500 | 1000 ± 400 | не опр. | 120 ± 24 | 35 ± 11 | 120 ± 66 | 23 ± 12 | 20 ± 7 | 13 ± 8 | не опр. | 1.9 ± 0.7 | |
| Горысовское в-ще, $x_{ср}$, n=75 | | 8900 ± 3000 | 800 ± 300 | не опр. | 130 ± 26 | 49 ± 16 | 140 ± 63 | 31 ± 9 | 26 ± 9 | 43 ± 11 | не опр. | 3.2 ± 0.8 | |
| Реки ФРГ | $x_{ср}$ | не опр. | не опр. | не опр. | 95 | 87 | 540 | 80 | 34 | 155 | не опр. | 7 | [14] |
| | размах | не опр. | не опр. | не опр. | 30 – 305 | 61 – 127 | 220 – 1325 | 31 – 210 | 23 – 51 | 72 – 332 | не опр. | 3 – 17 | |
| Печенежское в-ще | | 6700 – 11000 | 490 – 1030 | 14 – 200 | 3 – 12 | 11 – 22 | 17 – 68 | 23 – 36 | не опр. | 3.4 – 6.0 | не опр. | 0.1 | * |

- собственные исследования

*Таблица* 2. Содержание металлов в донных отложениях водотоков днепровского бассейна и р. Днепр (мг/ кг сух.в-ва)

| Название водотока | Fe | | Mn | | Zn | | Sr | | Cu | | Ni | | Cs | | Cr | | Pb | | Co | | Cd | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | * | C | * | C | * | C | * | C | * | C | * | C | * | C | * | C | * | C | * | C | * |
| р. Рось | 1510 | 1 | 424 | 2 | 4.0 | 4 | 2 | 7 | 8.4 | 3 | 2.1 | 6 | 2.6 | 5 | < 1.0 | 9-11 | < 1.0 | 9-11 | 1.0 | 8 | < 1.0 | 9-11 |
| р. Ольшанка | 6190 | 1 | 234 | 2 | 10.5 | 4 | 33 | 3 | 3.6 | 6 | 1.0 | 8 | 4.3 | 5 | < 1.0 | 9-11 | < 1.0 | 9-11 | 2.0 | 7 | < 1.0 | 9-11 |
| р. Тасмин | 5420 | 1 | 670 | 2 | 28.4 | 3 | 21 | 4 | 15.1 | 5 | 4.4 | 7 | 3.5 | 8 | 6.0 | 6 | 1.5 | 10 | 2.0 | 9 | < 1.0 | 11 |
| р. Омельник | 4610 | 1 | 336 | 2 | 20.1 | 3 | 9 | 5 | 5.9 | 6 | 9.1 | 4 | 2.9 | 10 | 5.6 | 7 | 3.0 | 8 | 3.0 | 9 | < 1.0 | 11 |
| р. Домоткань | 5740 | 1 | 382 | 2 | 34.0 | 3 | 38 | 4 | 8.4 | 5 | 8.0 | 6 | 4.0 | 10 | 7.8 | 7 | 5.7 | 8 | 5.0 | 9 | < 1.0 | 11 |
| р. Самоткань | 4980 | 1 | 287 | 2 | 137 | 3 | 14 | 7 | 33.0 | 5 | 13.5 | 8 | 4.0 | 9 | 54.0 | 4 | 17.6 | 6 | 3.0 | 10 | 1.0 | 11 |
| р. Коноплянка | 36100 | 1 | 1830 | 2 | 698 | 3 | 153 | 5 | 98.0 | 8 | 284 | 4 | 8.1 | 9 | 147 | 6 | 143 | 7 | 4.0 | 10 | 3.7 | 11 |
| р. Сура | 6810 | 1 | 681 | 2 | 237 | 3 | 59 | 4 | 33.3 | 6 | 29.0 | 7 | 3.2 | 10 | 22.4 | 8 | 42.0 | 5 | 6.0 | 9 | < 1.0 | 11 |
| р. Сула | 2600 | 1 | 250 | 2 | 14.0 | 3 | 6 | 4 | 1.9 | 7 | 1.0 | 8 | 2.6 | 5 | < 1.0 | 9-11 | 2.4 | 6 | < 1.0 | 9-11 | < 1.0 | 9-11 |
| р. Супой | 3890 | 1 | 421 | 2 | 8.6 | 4 | 33 | 3 | 2.8 | 5 | < 1.0 | 9-11 | 1.3 | 6 | < 1.0 | 9-11 | < 1.0 | 8-11 | 1.0 | 7 | < 1.0 | 8-11 |
| р. Золотоноша | 1310 | 1 | 113 | 2 | 4.3 | 4 | 11 | 3 | 0.2 | 6 | < 1.0 | 7-11 | 1.7 | 5 | < 1.0 | 7-11 | < 1.0 | 7-11 | < 1.0 | 7-11 | < 1.0 | 7-4 |
| р. Ирклей | 2610 | 1 | 490 | 2 | 16.0 | 4 | 43 | 3 | 3.8 | 6 | 1.4 | 7 | 2.9 | 5 | 1.2 | 8 | < 1.0 | 10-11 | 1.0 | 9 | < 1.0 | 10-11 |
| р. Сула | 1550 | 1 | 228 | 2 | 8.5 | 4 | 28 | 3 | 1.7 | 6 | 1.0 | 7-8 | 1.9 | 5 | < 1.0 | 9-11 | < 1.0 | 9-11 | 1.0 | 7-8 | < 1.0 | 9-11 |
| р. Кривая Руда | 7830 | 1 | 2160 | 2 | 37.0 | 4 | 209 | 3 | 10.1 | 6 | 12.9 | 5 | 5.0 | 8 | 5.9 | 8 | 9.0 | 7 | 3.0 | 10 | < 1.0 | 11 |
| р. Псел | 3470 | 1 | 327 | 2 | 14.8 | 3 | 2 | 8 | 2.0 | 7 | 1.5 | 9 | 2.1 | 6 | 5.1 | 4 | 1.4 | 10 | 4.0 | 5 | < 1.0 | 11 |
| р. Ворскла | 8440 | 1 | 1790 | 2 | 77.0 | 4 | 47 | 6 | 41.0 | 7 | 65.0 | 5 | 3.5 | 10 | 404 | 3 | 13.3 | 8 | 3.0 | 11 | 5.6 | 9 |
| р. Орель | 6590 | 1 | 533 | 2 | 16.4 | 4 | 74 | 3 | 3.2 | 7 | <1.0 | 10 | 3.7 | 5 | 2.3 | 8 | 3.5 | 6 | 2.0 | 9 | < 1.0 | 11 |
| р. Конка | 7350 | 1 | 894 | 2 | 30.0 | 4 | 189 | 3 | 13.0 | 7 | 15.4 | 5 | 5.2 | 8 | 13.6 | 6 | 3.2 | 10 | 4.0 | 9 | < 1.0 | 11 |
| Цыбульникский залив, р. Днепр | 6530 | 1 | 803 | 2 | 31.0 | 4 | 83 | 3 | 13.4 | 6 | 16.1 | 5 | 4.9 | 8 | 9.1 | 7 | 4.2 | 9 | 4.0 | 10 | < 1.0 | 11 |
| Цыбульникский залив, р. Днепр | 4110 | 1 | 460 | 2 | 16.0 | 4 | 89 | 3 | 7.0 | 5 | 4.8 | 6 | 4.6 | 7 | 3.2 | 9 | 4.1 | 8 | 1.0 | 10 | < 1.0 | 11 |
| Залив Плоская Осокоровка, р. Днепр | 3360 | 1 | 191 | 2 | 16.4 | 4 | 120 | 3 | 3.8 | 7 | 5.9 | 5 | 4.3 | 6 | 1.2 | 10 | 1.7 | 9 | 2.0 | 8 | < 1.0 | 11 |
| *Среднее* (*) | 1,00 | | 2,00 | | 3.65 | | 4.14 | | 6.33 | | 6.56 | | 6.76 | | 7.24 | | 8.04 | | 8.57 | | 10.14 | |
| *Кларк*(*почвы мира*) | 38000 | | 850 | | 50 | | 350 | | 20 | | 40 | | 5.0 | | 20 | | 10 | | 8 | | 5.0 | |
| $C_{средн.}$ | 6240 | | 643 | | 69 | | 60 | | 14.7 | | 22.8 | | 3.6 | | 33 | | 12.5 | | 2.6 | | 1.3 | |
| $C_{max}$ | 36100 | | 2160 | | 698 | | 209 | | 98.0 | | 284 | | 8.1 | | 404 | | 143 | | 6.0 | | 5.6 | |
| $C_{min}$ | 1310 | | 113 | | 4.0 | | 2 | | 0.2 | | <1.0 | | 1.3 | | <1.0 | | <1.0 | | <1.0 | | <1.0 | |

Примечания: * – порядковый номер в ряду уменьшения содержания металлов;
$C_{средн.}$ – среднее арифметическое содержание металла;
жирным шрифтом выделены качественные и количественные (курсив) превышения над кларками.

*Таблица* 3. Ряды, построенные в порядке уменьшения содержания металлов в исследованных объектах и значения кларков для почв мира

| Объект | Ряд | Последовательность в ряду | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Почвы мира (кларки) | I | Fe > | Mn > | Sr > | Zn > | Ni > | Cu = | Cr > | Pb > | Co > | Cs > | Cd |
| Донные отложения | II | Fe > | Mn > | Zn | Sr > | Cu | Ni | Cs > | Cr > | Pb > | Co > | Cd |
| Компоненты ОС | III | Fe > | (Mn)* | Zn > | Cu > | Ni > | Cr > | (Cs)* | Pb > | Sr > | Co > | Cd |
| Иловые осадки ОС | IV | Fe > | Zn > | Mn > | Cr > | Cu > | Pb > | (Cs)* | Ni > | Sr > | Cd > | Co |
| Погруженная ВВР | V | Fe > | Mn > | Sr > | Zn > | Ni > | Cu = | Cs > | Cr > | Co = | Pb > | Cd |
| Воздуховодная ВВР | VI | Fe > | Zn > | Mn > | Cs > | Sr > | Cu > | Ni > | Cr > | Pb > | Co > | Cd |
| Фитопланктон | VII | Fe > | Zn > | Mn > | Ni > | Cu > | Cr > | Cs | Sr | Pb | Cd > | Co |

* возможное положение в ряду

Осадки сточных вод, как правило, являются аккумуляторами металлов, поступающих на ОС с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Размах содержания металлов в отдельных твердых компонентах городских ОС может составлять 1-2 и более порядков (табл.4), а среднее содержание металлов в иловых осадках ОС значительно больше значений кларков металлов для почв мира и близко к максимальному содержанию металлов, найденному в ДО водотоков днепровского бассейна (табл.2). Можно предположить, что пробы ДО, отобранные в устьях рек Самоткань, Коноплянка, Сура и Ворскла, сформированы в значительной степени за счет материалов техногенного происхождения, в том числе и осадков ОС.

Более низкие содержания металлов в ДО, чем значения кларков металлов для почв мира, могут быть связаны с вышеуказанной причиной, а также с влиянием продукции внутриводоемных процессов. Она отражает жизнедеятельность водного объекта и бывает достаточно разнообразной, так как в формировании ДО участвуют все подсистемы: планктон, бентос и высшая водная растительность (ВВР). Анализ отобранных проб гидробионтов показывает, что погруженная ВВР содержит большие количества металлов, особенно Fe и Mn, по сравнению с воздушно-водной вследствие ее обитания в водной толще (табл.4). Фитопланктон также формируется в водной толще, поэтому найденное содержание в нем некоторых металлов (Zn, Cu и Cd) достаточно близко к содержанию металлов в погруженной ВВР, но содержание других металлов значительно ниже. В условиях натурного моделирования фитопланктон способен аккумулировать металлы в больших количествах в зависимости от концентрации металла в воде [22], так как между содержанием металла в биомассе фитопланктона и концентрацией металла в воде существует прямолинейная зависимость [23]. Поэтому при внутригодовой смене в водном объекте видов фитопланктона его биомасса, а также биомасса других гидробионтов, изымает металлы из воды до уровня равновесных концентраций. В исследованных гидробионтах содержание большинства металлов на 1-3 порядка меньше, чем в иловых осадках ОС, а содержание Cu, Ni, Cr, Pb, Co и Cd. значительно ниже значений кларков металлов для почв мира. Поэтому в случае преобладающего присутствия биомассы фитопланктона и ВВР в отобранных пробах ДО найденные содержания металлов могут быть значительно ниже значений кларков металлов для почв мира.

Если по данным таблицы 4 построить ряды убывания найденного содержания металлов в исследованных объектах, то они достаточно близки к ряду металлов, построенному по значениям их кларков для почв мира (ряд I). Для компонентов и иловых отложений ОС (III ряд и V ряд) исключение составляет положение Sr, который занял место в конце рядов. Очень вероятно, это связано с тем, что Sr не входит в первую десятку техногенных металлов, таких как Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd и других, которые и опередили Sr по своему содержанию в исследованных образцах техногенного происхождения. В рядах для гидробионтов, как и в случае с ДО, выделяется положение Cs. Оно на 3-6 позиций сдвинуто влево, что может быть связано с загрязнением исследованных водных объектов Cs.

*Таблица* 4. Содержание металлов в некоторых компонентах техногенной и природной среды (мг/ кг сух. в-ва)

| Концен-трация | Fe | Mn | Zn | Sr | Cu | Ni | Cs | Cr | Pb | Co | Cd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Твердые компоненты городских ОС (г. Измаил) | | | | | | | | | | | |
| $C_{мин}$ | 1050 | не опр. | 70 | 10 | 23 | 8 | не опр. | 12 | 10 | 5 | 0.4 |
| $C_{макс}$ | 7590 | не опр. | 837 | 39 | 1330 | 463 | не опр. | 191 | 75 | 18 | 3.8 |
| $C_{сред}$ (n=4) | 4150 | не опр. | 550 | 23 | 301 | 269 | не опр. | 130 | 38 | 10 | 2.4 |
| Иловые осадки городских ОС (г. Кривой Рог) | | | | | | | | | | | |
| $C_{мин}$ | 31500 | 156 | 680 | 21 | 186 | 44 | не опр. | 183 | 52 | < 10 | 7.1 |
| $C_{макс}$ | 48100 | 1057 | 897 | 38 | 240 | 56 | не опр. | 283 | 85 | < 10 | 15.1 |
| $C_{сред}$ (n=5) | 37560 | 610 | 771 | 30 | 218 | 48 | не опр. | 225 | 64 | < 10 | 10.9 |
| Погруженная ВВР водных объектов (район г. Энергодара) | | | | | | | | | | | |
| $C_{мин}$ | 420 | 360 | 22 | 15 | 5.9 | 2.4 | 1.0 | 2.4 | 0.2 | 0.2 | 0.05 |
| $C_{макс}$ | 3980 | 3620 | 118 | 236 | 22 | 50 | 14 | 11 | 4.0 | 10 | 0.74 |
| $C_{сред}$ (n=12) | 1930 | 1300 | 52 | 86 | 7.0 | 23 | 6.6 | 6.1 | 1.6 | 3.0 | 0.24 |
| Воздушно-водная ВВР водных объектов (район г. Энергодара) | | | | | | | | | | | |
| $C_{мин}$ | 40 | 3 | 27 | 6.2 | 4.4 | 4.0 | 9.2 | 2.0 | 0.4 | <0.2 | 0.02 |
| $C_{макс}$ | 86 | 20 | 36 | 9.4 | 8.9 | 8.0 | 21 | 8.1 | 1.1 | 0.4 | 0.06 |
| $C_{сред}$ (n=5) | 62 | 16 | 30 | 7.5 | 7.0 | 5.6 | 14 | 3.7 | 0.6 | 0.3 | 0.03 |
| Фитопланктон водохранилищ р. Днепр | | | | | | | | | | | |
| $C_{мин}$ | 474 | 5,1 | 5,1 | < 1.0 | 0.6 | 0.4 | < 0.1 | < 0.1 | 0.1 | < 0.5 | 0.03 |
| $C_{макс}$ | 1760 | 59 | 246 | 4.0 | 7.1 | 14 | < 0.1 | 4.1 | 2.4 | < 0.5 | 3.0 |
| $C_{сред}$ (n=5) | 897 | 28 | 66 | < 1.0 | 3.2 | 4.3 | < 0.1 | 2.8 | 0.9 | < 0.5 | 1.0 |

## Выводы

1. Ряды металлов, построенные по уменьшению их содержания в исследованных компонентах живой и неживой природы, практически совпадают как между собой, так и с рядом металлов, построенному по значениям их кларков для почв мира: в начале рядов стоят Fe, Mn и Zn, а в конце Pb, Co, Cd. Это подтверждает, что ДО и содержание в них металлов являются производными от круговорота энергии и вещества в природе, который связывает явления жизни и явления мертвой природы в единое целое.

2. Качественной характеристикой загрязнения ДО металлами может служить положение металла в ряду, построенному по убыванию содержания металлов в пробе ДО, по сравнению с его положением в ряду, построенному по значениям кларков металлов для почв мира. Точкой отсчета для количественной характеристики могут служить значения кларков металлов для почв мира. Превышение этих значений указывает на природные аномалии или техногенное загрязнение ДО, а меньшие значения говорят о преобладании автохтонных отложений в исследованных пробах.

## Литература

1. Цветкова А.М., Новиков Б.И. Гидробиол. журн. 1995. Т.31. №6. С.79-85
2. Зубенко И.Б., Линник П.Н. Гидробиол. журн. 1997. Т.33. №3. С.101-112.
3. Кораблева А.И. Вод. ресурсы. 1991. №2. С.105-111.
4. Илялетдинов А.Н. Вод. ресурсы. 1980. №2. С.158-169.
5. Гапеева М.В., Цельмович О.Л. Вод. ресурсы. 1989. №1. С.170-172.
6. Ершова Е.Ю., Веницианов Е.В., Кочарян А.Г., Вульфсон Е.К. Вод. ресурсы. 1996. Т.23. №1. С.59-65.
7. Нахшина Е.П. Вод. ресурсы. 1991. №5. С.86-93.
8. Осадчий В.И., Пелешенко В.И., Савицкий В.Н., Кирничный В.В., Гребень В.В., Годун О.С. Вод. ресурсы. 1993. Т.20. №4. С.445-461.
9. Виленский В.Д., Даценко Ю.С. Вод. ресурсы. 1985. №4. С.128-135.
10. Кондратьева Т.И., Горшков С.П. Вод. ресурсы. 1980. №1. С.177-184.
11. Гонтарь Ю.В., Крупский К.Н., Бочаров В.А., Киселевский В.В. Вод. ресурсы. 1983. №4. С.89-95.
12. Савченко В.В. Вод. ресурсы. 1996. Т.23. №4. С.444-447
13. Гапеева М.В., Законнов В.В., Гапеев А.А. Вод. ресурсы. 1997. Т.24. №2. С.174-180.
14. Макунина Г.С. Вод. ресурсы. 1976. №2. С.159-168.
15. Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука. 1978. 358 с.
16. Баторин Н.В., Зиминова Н.А., Кудрин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. 1975. Л.: Наука. 159 с.
17. Нахшина Е.П. Микроэлементы в водохранилищах Днепра. Киев. Наук. думка. 1983. 158 с.
18. Алексеенко В.А. Экология. 1988. №3. С.71-73.
19. Шевчук В.Я., Васенко О.Г. Еколог?чний стан басейну р?ки Дн?про за результатами першо?укра?нсько-канадсько?експедиц??Харк?в. 1999. 53 с.
20. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. М.: Недра. 1990. 480 с.
21. Кадукин А.И., Красинцева В.В., Кузьмина Н.П., Романова Г.И., Шимин Г.Ф. Вод. ресурсы. 1979. №3. С.113-129.
22. Васюков А.Е., Хейфец Л.Я., Стешенко С.А. Экологическая химии. 1994. Вып.3-4. С.193-199.
23. Васюков А.Е., Свердлов Б.С., Стешенко С.А. Журн. аналит. химии. 1994. Т.49. №9. С.997-1003.

*Поступила в редакцию* 6 *декабря* 2002 *г.*

Kharkov University Bulletin. 2002. №549. Chemical Series. Issue 8(31). A.E.Vasyukov. Metal admixtures in bottom sediment: their composition and sources of coming to surface water body.

A principal scheme of bottom sediment (BS) formation is given for freshwater ecosystems with the assessment of their contribution to material balance of products of soils and rocks destroying and products of intrawaterbody processes and wastewater mud. Analysis of metal content in BS samples from Dnepr river basin has confirmed the main mechanism for metal distribution and content in BS according to values of metal clarke for soils, deviations can be explained by the predominance of either natural or technogenic component in BS.