

УДК 550.42

**ОПЫТ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ИРТЫШ ТОКСИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ****Земцова Е.С., Алимова Г.С., Токарева А.Ю., Дударева И.А.***ФГБУН «Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук», Тобольск, e-mail: zemcovaelena@mail.ru*

В статье рассмотрен новый подход к оценке загрязнения донных отложений водных объектов тяжелыми металлами. На основе полученных уравнений регрессии, отражающих математическую зависимость концентрации металла от двух предикторов – доли песка и глины в речных отложениях, рассчитаны наиболее вероятные значения Pb, Cr, Zn, Ni, Cu и As в 63 образцах донных отложений реки Иртыш известного гранулометрического состава. Сравнение теоретических значений с фактически полученными результатами позволило дать более объективную оценку степени загрязнения донных отложений тяжелыми металлами с учетом их механического состава. Выделены образцы отложений, в которых фактические значения в 2-8 раз превысили теоретические показатели. Повышенные концентрации загрязняющих веществ чаще определялись на участках правого берега реки Иртыш, в большей степени подверженного антропогенному загрязнению.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, донные отложения, река Иртыш**THE EXPERIENCE OF ASSESSMENT OF POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS THE LOWER REACHES OF THE IRTYSH RIVER BY TOXIC METALS****Zemcova E.S., Alimova G.S., Tokareva A.Y., Dudareva I.A.***Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk, e-mail: zemcovaelena@mail.ru*

In the article describes a new approach to the assessment of pollution of bottom sediments of water bodies by heavy metals. Based on the previously obtained regression equations, reflecting the mathematical dependence of the metal concentration from the two predictors – the proportion of sand and clay in river sediments, were calculated the most probable values of Pb, Cr, Zn, Ni, Cu and As in 63 samples of bottom sediments of the Irtysh river of known particle size distribution. Comparison of theoretical values with the received results enabled to give a more objective assessment of the degree of pollution of bottom sediments by heavy metals with regard to their mechanical composition. The selected samples of the sediments, in which the actual values are 2-8 times higher, than theoretical settings. Elevated concentrations of pollutants are often determined in areas of the right bank of the Irtysh river, is more exposed to anthropogenic pollution.

**Keywords:** heavy metals, bottom sediments, the Irtysh river

Тяжелые металлы, поступающие из антропогенных источников загрязнения, оказывают большое влияние на водные экосистемы, приводят к структурно-функциональным изменениям популяций и сообществ [5, 6]. Донные отложения (ДО), депонируя загрязняющие вещества, могут являться вторичным источником загрязнения. Под влиянием изменения физико-химических условий (например, pH, растворенный  $O_2$ , бактериальная активность) связанные с ДО соединения могут переходить в водную толщу, поступать в пищевую цепь и иметь вторичные эффекты для живых организмов. ДО должны исследоваться для оценки состояния поверхностных вод и определения потенциального переноса загрязняющих веществ [2].

Существуют значительные вариации в фоновых концентрациях металлов ДО. Интенсивность сорбции металлов речными отложениями зависит от присутствия глинистых частиц, гуминовых кислот, желе-

зомарганцевых оксидов, pH и ряда других факторов [6]. Поэтому оценка степени загрязнения ДО должна проводиться с учетом их физических и химических свойств.

Цель работы – дать оценку загрязнения ДО нижнего течения реки Иртыш наиболее токсичными металлами (Pb, As, Zn, Cu, Ni, Cr) с учетом гранулометрического и химического состава исследуемых образцов.

**Материалы и методы исследования**

С 2013 г. проводятся работы по изучению химического состава ДО нижнего течения реки Иртыш. Пробы ДО отобраны с правого берега (R), русла (M) и левого берега (L) при разных гидрологических режимах – весной (1), летом на спаде половодья (2) и осенью перед ледоставом (3). Станции отбора проб расположены вблизи населенных пунктов Тобольского и Уватского районов: с. Абалак (1), д. Бизино (2), г. Тобольск, речной порт (3), д. Медведчиково (4), д. Бронниково (5), Научно-исследовательский стационар «Миссия» (6), с. Горнослинкино (7). Схема-карта района исследований дана в [1]. Анализ образцов ДО выполнен в аккредитованной аналитической ла-

боратории экотоксикологии ФГБУН ТХНС УрО РАН. Определялось содержание основных ионов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), органических веществ (гумус), оценивался уровень кислотности водной вытяжки ДО (рН). Проведена оценка концентраций валовой формы шести металлов (приоритетных для наблюдений) на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 7000DV (PerkinElmer, США) – Pb, Cr, Zn, Ni, Cu, и As. Протопоготовка осуществлена с использованием системы микроволнового разложения speedwave MWS-2 (BERGHOF Products + Instruments GmbH, Германия). При определении гранулометрического состава ДО применен метод Рутковского, для классификации грунтов по результатам гранулометрического анализа использован треугольник Ферре.

Статистический анализ данных проведен с использованием пакета программ «Statistica» (Stat Soft). Применен корреляционный и регрессионный анализ. Критический уровень значимости ( $p$ ) принимался равным 0,05.

### Результаты исследования и их обсуждение

Особенностью ДО исследованного участка реки Иртыш являлась значительная их гетерогенность по гранулометрическому составу (по преобладающему размеру слагающих фракций). В общей выборке изученных образцов ДО 32% относились к песчаным суглинкам, 27% – к пескам, 21% – к суглинистым пескам, 14% – к суглинкам илистым, 7% – классифицировались как суглинки. Показатели рН водной вытяжки образцов ДО изменялись в диапазоне от 5,2 до 8,2 ед. рН. Значения рН статистически значимо коррелировали с процентным содержанием песка ( $r = +0,27$ ,  $p < 0,05$ ) и глины ( $r = -0,31$ ,  $p < 0,05$ ) в ДО. Содержание гумуса в речных отложениях варьировало в диапазоне от 0,04 до 1,69%. Выявлены корреляции данного признака с долей песка ( $r = -0,44$ ,  $p < 0,05$ ) и глины ( $r = +0,47$ ,  $p < 0,05$ ). Суммарное содержание солей в речных отложениях не превышало 0,1%.

Валовая концентрация металлов в ДО в значительной степени определялась дисперсностью образцов. Известно, что при уменьшении размера фракций увеличивается удельная площадь поверхности частиц и, соответственно, сорбция металлов на поверхности материала взвеси. В среднем содержание As, Ni, Cr, Zn, Pb и Cu в песках и суглинках различалось в 3, 4, 5, 5, 5 и 7 раз соответственно.

На основе ранее полученных уравнений множественной регрессии [4], отражающих математическую зависимость концентрации металла от двух предикторов – доли песка и глины в речных отложениях, рассчитаны наиболее вероятные значения Pb, Cr, Zn, Ni, Cu и As в 63 образцах ДО известного

гранулометрического состава. Проведено сравнение теоретически рассчитанных значений с фактически полученными результатами (рис. 1 и 2).

Фактическое содержание Pb в исследуемых образцах колебалось от 7,3 до 137,7 мг/кг (рис. 1). Выявлены тесные связи между концентрациями Pb в ДО и процентным содержанием в них гранулометрических фракций – песка ( $r = -0,80$ ) и глины ( $r = +0,83$ ). Определена слабая статистически значимая связь Pb с содержанием органического вещества в образце ( $r = +0,33$ ). Фактические результаты в нескольких образцах превышали теоретически рассчитанные значения. Наибольшие различия между теоретическими и практическими показателями выявлены для песчаных образцов, отобранных с правого берега – R<sub>1</sub>4 (в 2,3 раза), R<sub>3</sub>3 (в 3,2 раза) и R<sub>3</sub>2 (в 4,3 раза). При сравнении полученных результатов с ориентировочно-допустимыми концентрациями (ОДК), разработанными с учетом физико-химических свойств почв [3], отмечено превышение Pb только в одном образце – R<sub>1</sub>4 (концентрация Pb составила 56 мг/кг по сравнению с ОДК для песчаных проб – 32 мг/кг).

Валовое содержание Zn в изученных образцах варьировало в интервале от 2,9 до 56,5 мг/кг (рис. 1). Коэффициенты корреляции показателей Zn с содержанием песка, глины и органического вещества составили соответственно – 0,76, +0,79, +0,31 ( $p < 0,05$ ). Наблюдалось существенное (в 3,3 раза) превышение фактических значений над теоретическими показателями в образце R<sub>1</sub>1, а также (как и в случае с Pb) в образцах R<sub>1</sub>4, R<sub>3</sub>3 и R<sub>3</sub>2 (в 2,2 – 2,8 раз).

Фактические показатели Cr в речных отложениях изменялись в пределах от 2,5 до 49,3 мг/кг (рис. 1). Для Cr, также как и для других металлов, были характерны отрицательные корреляции с относительным содержанием крупных фракций в пробе ДО ( $r = -0,68$ ) и положительные – с долей мелких фракций ( $r = +0,69$ ), с количеством органического вещества статистически значимых связей не определено. Значительное превышение фактических значений выявлено в образцах R<sub>3</sub>3 (в 5 раз) и R<sub>3</sub>2 (в 3,5 раза). Правый песчаный берег реки станций 3 (г. Тобольск, речной порт) и 2 (д. Бизино) в большей степени подвержен антропогенному загрязнению, часто является местом отдыха жителей. Согласно литературным данным обогащение осадков хромом коррелируется с поступлением золы из различных источников – от сжигания угля, древесины, нефти [6]. Большие различия между теоретическими и фактическими результатами были характерны также для образца M<sub>3</sub>2.

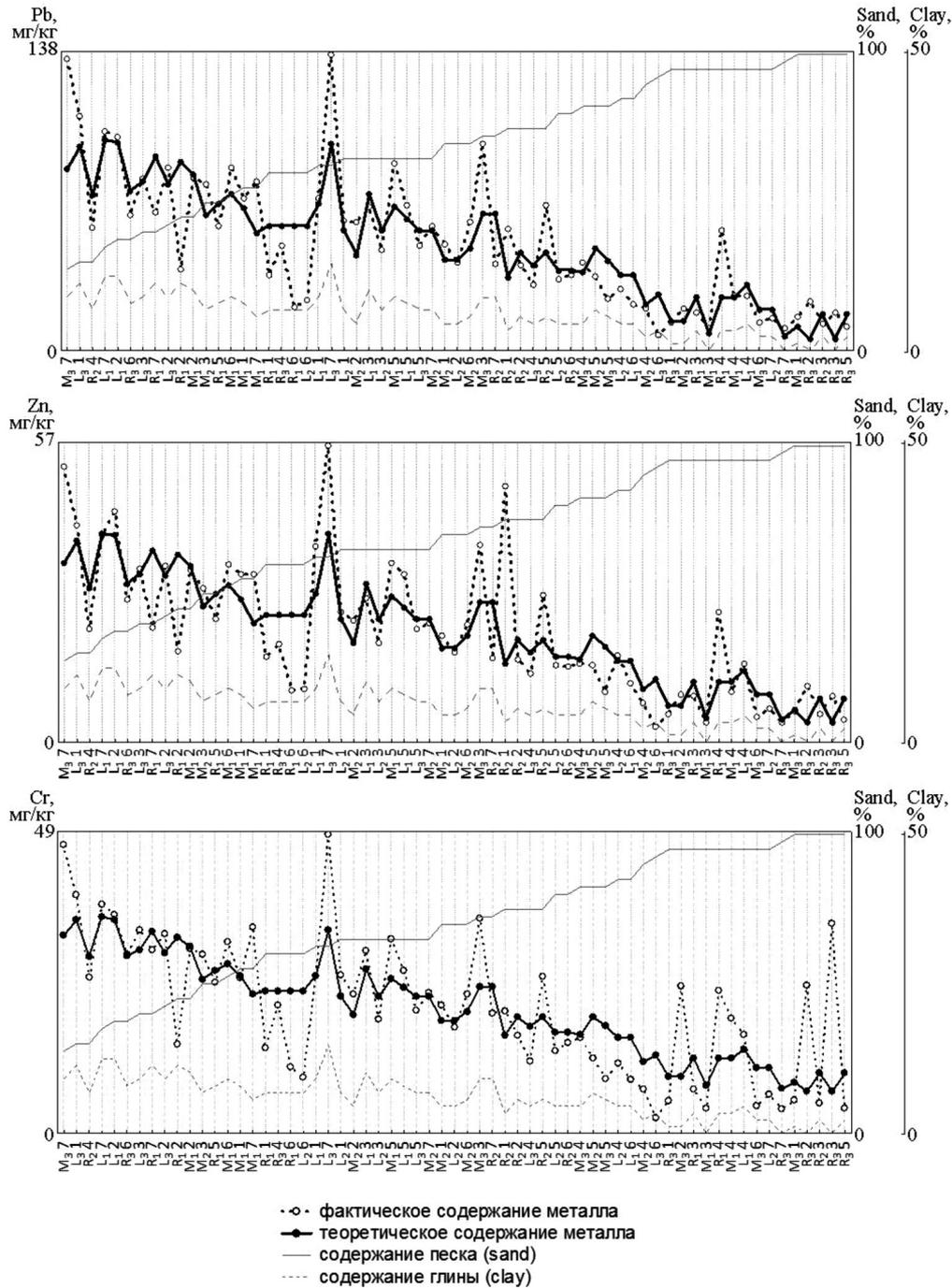


Рис. 1. Фактическое и теоретическое содержание Pb, Zn и Cr в 63 образцах ДО реки Иртыш различного гранулометрического состава

Минимальные показатели Ni в изученных образцах составили 1,1 мг/кг, максимальные – 23,9 мг/кг (рис. 2). Коэффициенты корреляции Ni с долей песка и глины в пробах ДО составили соответственно – 0,63, + 0,67 ( $p < 0,5$ ), с содержанием органического вещества связей не выявлено. Многократное превышение практически

полученных результатов над теоретическими было характерно для образцов R<sub>3</sub>2 (в 5,2 раза) и M<sub>3</sub>2 (в 4,3 раза). Согласно [6], основным источником антропогенного поступления данного металла в окружающую среду является сжигание дизельного топлива, что составляет 57% общего антропогенного поступления.

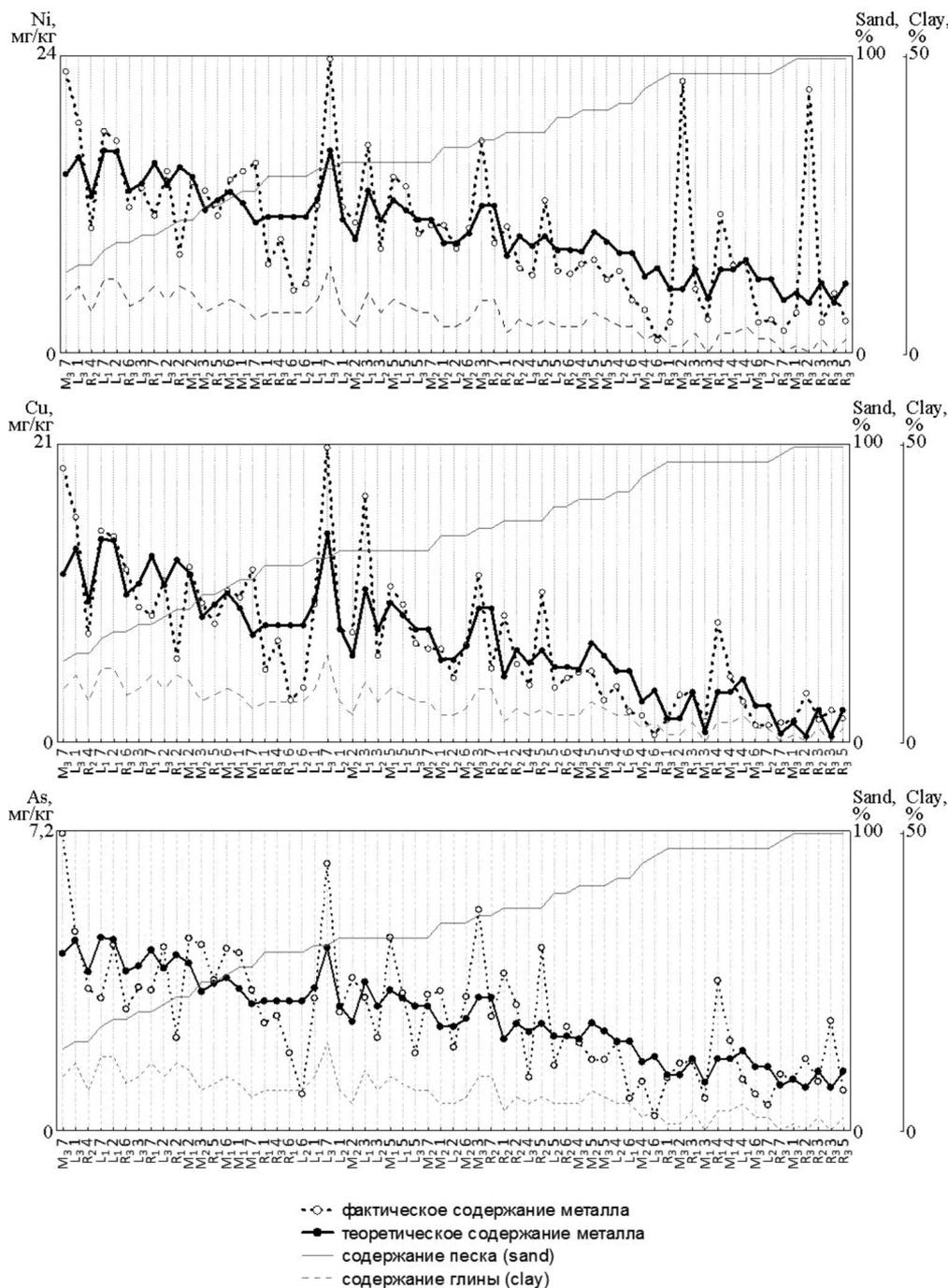


Рис. 2. Фактическое и теоретическое содержание Ni, Cu и As в 63 образцах ДО реки Иртыш различного гранулометрического состава

Пределы колебаний содержания Cu в образцах ДО составили от 0,53 до 20,8 мг/кг (рис. 2). Показатели Cu возрастали при увеличении доли глинистых частиц ( $r = +0,82$ ) и содержания органического вещества ( $r = +0,32$ ) и снижались при увеличении доли песчаных частиц ( $r = -0,79$ ). Суще-

ственное превышение фактических значений Cu по сравнению с теоретическими показателями обнаружено в образцах R<sub>3</sub>2 (в 8,1 раз), R<sub>3</sub>3 (в 5,4 раза), R<sub>3</sub>4 (в 2,4 раза).

Валовое содержание As изменялось в диапазоне от 0,37 до 7,2 мг/кг, возрастало при увеличении представленности в об-

разце мелкозернистых фракций ( $r = +0,69$ ) и снижении доли крупнозернистых фракций ( $r = -0,69$ ) (рис. 2). Отмечена слабая статистически значимая связь As с количеством органического вещества ( $r = +0,28$ ). Двукратное превышение фактических показателей As относительно теоретических значений выявлено в образцах  $R_3$  и  $R_4$ . При сравнении валовых концентраций As с ОДК [3], обнаружено превышение концентрации As только в образце  $R_4$  – 3,6 мг/кг против ОДК для песчаных проб – 2,0 мг/кг.

### Выводы

1. При ранжировании валовых концентраций шести металлов в образцах ДО исследованного участка реки Иртыш получен следующий порядок: Pb (7,3 – 137,7 мг/кг) > Zn (2,9 – 56,5 мг/кг) > Cr (2,5 – 49,3 мг/кг) > Ni (1,1 – 23,9 мг/кг) > Cu (0,53 – 20,8 мг/кг) > As (0,37 – 7,2 мг/кг).

2. Установлены сильные и средней силы корреляции между концентрацией металлов в образце ДО и процентным содержанием в них глины (прямая связь) и песка (обратная связь). Наиболее тесные корреляции с показателями гранулометрического состава образцов характерны для Pb и Cu.

3. На основе ранее полученных уравнений множественной регрессии рассчитаны теоретические значения Pb, Cr, Zn, Ni, Cu и As в 63 образцах ДО известного гранулометрического состава. При сравнении тео-

ретических значений с практически полученными результатами выявлены образцы с повышенными концентрациями металлов (в основном это песчаные пробы с правого берега реки, в большей степени подверженного антропогенному загрязнению).

*Работа поддержана программой УрО РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», проект № 15-12-4-20.*

### Список литературы

1. Алимova Г.С., Земцова Е.С., Токарева А.Ю. Применение экогеологических критериев при оценке химического загрязнения донных отложений Нижнего Иртыша // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5. – С. 94–98; URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35905> (дата обращения: 31.08.2016).
2. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / [Т.И. Моисеенко, В.А. Даувальтер, А.А. Лукин, Л.П. Кудрявцева и др.]; отв. ред. Т.И. Моисеенко. – М.: Наука, 2002. – 403 с.
3. ГН 2.1.7.020-94 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами (валовое содержание, мг/кг) (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91).
4. Земцова Е.С., Алимova Г.С., Токарева А.Ю., Попова Е.И. Способ оценки загрязнения водных объектов тяжелыми металлами // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 11 (часть 1). – С. 71–72.
5. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. – М.: Наука, 2009. – 400 с.
6. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 288 с.