

УДК 550.42

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НЕКОТОРЫХ РЕК ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ****Земцова Е.С., Алимова Г.С., Дударева И.А., Токарева А.Ю.***Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск, e-mail: tbsras@rambler.ru*

Изучен химико-физический состав донных отложений пяти рек Тюменской области (Иртыш, Демьянка, Лев, Вандрас, Самсоновская). В исследуемых образцах определено валовое содержание Al, Fe, Ca, Mg, K, Mn, Na, Pb, Sr, Cr, Zn, Se, Sb, Ni, Cu, Co, As и Cd методом атомно-эмиссионной спектрометрии, pH, содержание гумуса, солевой состав, доля глины и песка. Описаны корреляции металлов с показателями химического и гранулометрического состава донных отложений, наиболее тесные связи отмечены с содержанием глины. Приведены значения валового содержания металлов в образцах разной дисперсности – песках, суглинистых песках, песчаных суглинках и суглинках. Выявлено, что в суглинках концентрация различных металлов в 3–12 раз превышает таковую в песках. С целью сравнения степени накопления металлов в донных отложениях разных рек, идентичных по гранулометрическому составу, использованы уравнения регрессии. В реке Иртыш по сравнению с другими реками выявлено превышение Sr, Cu, Ni и Cr.

**Ключевые слова:** Обь-Иртышский бассейн, донные отложения, металлы, гранулометрический анализ**THE COMPARATIVE ANALYSIS CONTENT OF METALS IN SEDIMENTS OF SOME RIVERS OF THE TYUMEN REGION****Zemtsova E.S., Alimova G.S., Dudareva I.A., Tokareva A.Y.***Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences st. named of academician Yuri Osipov, Tobolsk, e-mail: tbsras@rambler.ru*

Studied the chemical and physical composition of the sediments of the Tyumen region of five rivers (Irtys, Demyanka, Leo, Vandras, Samsonovskaya). The test samples determined by the total content of Al, Fe, Ca, Mg, K, Mn, Na, Pb, Sr, Cr, Zn, Se, Sb, Ni, Cu, Co, As and Cd by atomic emission spectrometry, pH, humus, salt composition, the proportion of clay and sand. Described correlation metals and chemical indicators of size distribution of sediment, the most close ties marked with the content of clay. The values of the total content of metals in samples of different dispersion – sand, loamy sand, sandy loam and loam. It was found that the concentration of various metals loam 3–12 times greater than in the sands. To compare the degree of accumulation of metals in sediments of various rivers of identical particle size distribution, used the regression equation. In the Irtys compared with other rivers identified excess Sr, Cu, Ni and Cr.

**Keywords:** Ob-Irtys basin, sediment, metals, grain size analysis

Тюменская область обладает весьма значительными водными ресурсами. Количество рек протяженностью более десяти километров превышает 70 тыс. [1]. Самыми крупными водными артериями являются Обь и ее приток Иртыш. Реки богаты высокоценными сиговыми и осетровыми рыбами и имеют существенное рыбопромысловое значение.

Многочисленные исследования свидетельствуют об ухудшении качества вод и состояния рыбных ресурсов Обь-Иртышского бассейна, что связано с негативным химическим воздействием предприятий разных отраслей промышленности, сельского и коммунального хозяйства, транспорта [4, 5]. Основными загрязняющими веществами водных объектов являются тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы, биогены, органические вещества. Обстановка в регионе свидетельствует о необходимости постоянного экологического мониторинга.

Исследования вод не всегда дают возможность полноценно охарактеризовать

состояние пресноводной экосистемы из-за высокой динамичности их состава и дискретности поставки загрязнителей техногенными источниками. Значительно более стабильным компонентом природной среды являются донные отложения (ДО), депонирующие загрязняющие вещества, попадающие на территорию водосборов рек и озер [3]. Среди веществ, загрязняющих окружающую среду, по опасности воздействия на живые организмы и объему выбросов особое место занимают соединения тяжелых металлов. Многими авторами показаны значительные различия содержания металлов в почвах и ДО разной дисперсности [2]. Между тем в большинстве публикаций оценка концентраций металлов в ДО и пойменных почвах Обь-Иртышского бассейна проводится без учета гранулометрического состава образцов.

**Цель исследования** – провести сравнительный анализ содержания металлов в ДО рек Тюменской области с учетом их физико-химических свойств.

**Материалы и методы исследования**

Работа выполнена в соответствии с темой естественнонаучного направления деятельности ТКНС УрО РАН «Состояние экосистем Иртыша в условиях интенсивного антропогенного воздействия» и при финансовой поддержке УрО РАН в рамках программы интеграционных проектов (грант № 12-И-4-2045).

В 2013 году проведены экспедиционные работы по изучению химического состава ДО пяти рек Обь-Иртышского бассейна. Отобрано 63 образца ДО реки Иртыш в пределах Тобольского и Уватского районов Тюменской области с правого берега, русла и левого берега и по 6 образцов ДО рек Демьянка, Лев, Вандрас и Самсоновская (река Демьянка является притоком Иртыша; другие реки через Большой Салым впадают в Обь). Анализ отобранных образцов выполнен в лаборатории Экотоксикология ТКНС УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516420 от 04.03.2011) с применением аттестованных методик и с использованием сертифицированных в РФ, поверенных средств измерения и оборудования. 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 pH водной вытяжки ДО. Проводилась оценка концентраций валовой формы металлов на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 7000 DV (Perkin Elmer, США). В образцах ДО реки Иртыш анализировалось содержание 18 металлов (Al, Fe, Ca, Mg, K, Mn, Na, Pb, Sr, Cr, Zn, Se, Sb, Ni, Cu, Co, As, Cd), в пробах ДО других рек оценивалось содержание 7 металлов (Mn, Pb, Sr, Cr, Zn, Ni, Cu). Пробоподготовка осуществлялась с использованием системы микроволнового разложения speedwave MWS-2 (BERGHOF Products + Instruments GmbH, Германия). При определении гранулометрического состава ДО использовался метод Рутковского, для

классификации грунтов по результатам гранулометрического анализа применялся треугольник Ферре.

Статистический анализ данных проводился с использованием пакета Statistica (Stat Soft, США). При проверке статистических гипотез использовались Н-критерий Крускала – Уоллиса, U-критерий Манна – Уитни, корреляционный и регрессионный анализ. Критический уровень значимости (p) принимался равным 0,05.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Выявлена неоднородность исследуемых образцов ДО по гранулометрическому составу – содержание песка в отдельных пробах колебалось от 27 до 100%, глины – от 0 до 15%. ДО классифицировались как пески, суглинистые пески, песчанистые суглинки, суглинки и суглинки илистые (рис. 1).

ДО исследуемых рек характеризовались низким содержанием солей. Общее содержание солей в ДО реки Иртыш не превышало 0,1%, в других реках – 0,05% (рис. 2). Водородный показатель водной вытяжки ДО варьировал в диапазоне от 4,4 до 8,4. При ранжировании рек по величине pH получен следующий ряд – Иртыш > Демьянка > Лев > Самсоновская, Вандрас. ДО реки Иртыш чаще всего классифицировались как слабощелочные, ДО рек Вандрас и Самсоновская – как кислые (рис. 2). Наблюдалось низкое содержание гумуса в изучаемых образцах – не более 1,0%, за исключением реки Самсоновская, характеризующейся более высокими показателями гумусовых веществ –  $2,6 \pm 0,9\%$  (рис. 2).

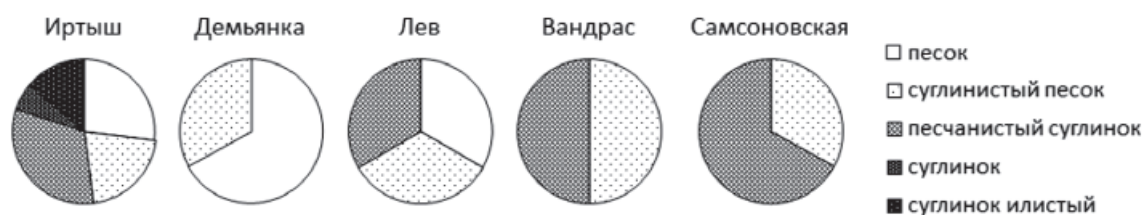


Рис. 1. Распределение образцов донных отложений на группы в зависимости от гранулометрического состава

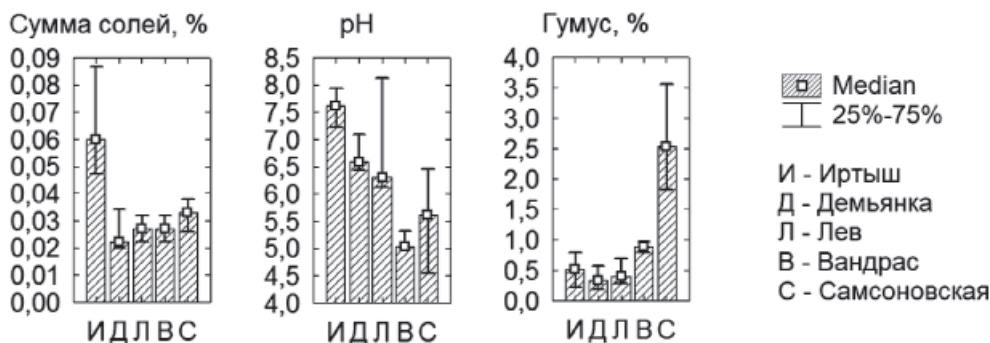


Рис. 2. Химический состав донных отложений

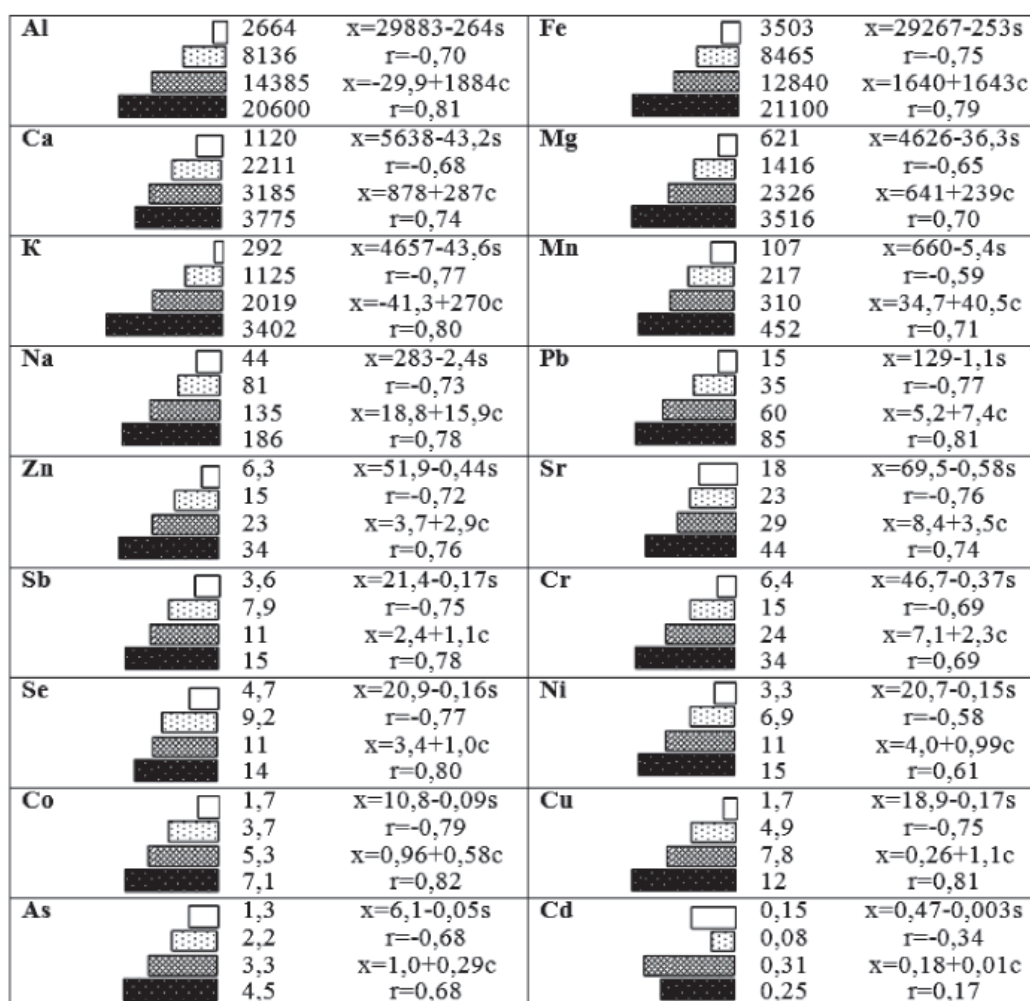
Определено валовое содержание металлов в образцах ДО исследуемых рек.  
Проведено ранжирование усредненных концентраций металлов:

Иртыш	Al $\approx$ Fe > Ca > Mg > K > Mn > Na > Pb > Sr > Cr $\approx$ Zn > Se $\approx$ Ni $\approx$ Sb > Cu > Co > As > Cd
Демьянка	Mn > Pb > Zn > Cr > Sr > Ni > Cu
Лев	Mn > Pb > Zn $\approx$ Cr > Sr $\approx$ Ni > Cu
Вандрас	Mn > Pb > Zn > Cr > Sr > Ni > Cu
Самсоновская	Mn > Pb > Zn $\approx$ Cr > Sr $\approx$ Ni > Cu

Выявлены различия между реками в ранге стронция (Sr) – в ДО реки Иртыш наблюдались более высокие его концентрации относительно Cr и Zn, в других реках – более низкие.

При проведении корреляционного анализа отмечены положительные связи большинства металлов с содержанием гумуса, причем наиболее тесные корреляции опре-

делены для Al, Fe, K, Mn, Pb, Zn, Co, Se. Такие металлы как Sr, Ca, Mg, Ni и Cd, не имели статистически значимых связей с содержанием гумуса. Таким образом, имеются различия в способности гумусовых веществ сорбировать различные металлы. С показателями pH в ряде случаев (Pb, Al, Zn, Cr) наблюдались отрицательные корреляции.



Примечание:

- песок
- ▨ суглинистый песок
- ▩ песчанистый суглинок
- суглинок\*

- x – металл, мг/кг
- s – песок (sand), %
- c – глина (clay), %
- r – коэффициент корреляции

Рис. 3. Содержание металлов в донных отложениях реки Иртыш разного гранулометрического состава (\*пробы с наименованиями «суглинок» и «суглинок илистый» объединены в одну группу в связи с отсутствием статистически значимых отличий между группами в содержании металлов)

Известно, что на содержание металлов в ДО решающее значение оказывает дисперсность последних. При уменьшении размера фракций увеличивается удельная площадь поверхности частиц и, соответственно, сорбция металлов на поверхности материала взвеси. Установлены сильные и средней силы связи между валовым со-

держанием металлов в ДО (за исключением Cd) и показателями гранулометрического состава грунта, причем корреляции металлов с процентным содержанием песка в пробах имели отрицательный характер, а с содержанием глины – положительный. С показателями глины наблюдались более тесные связи (рис. 3).

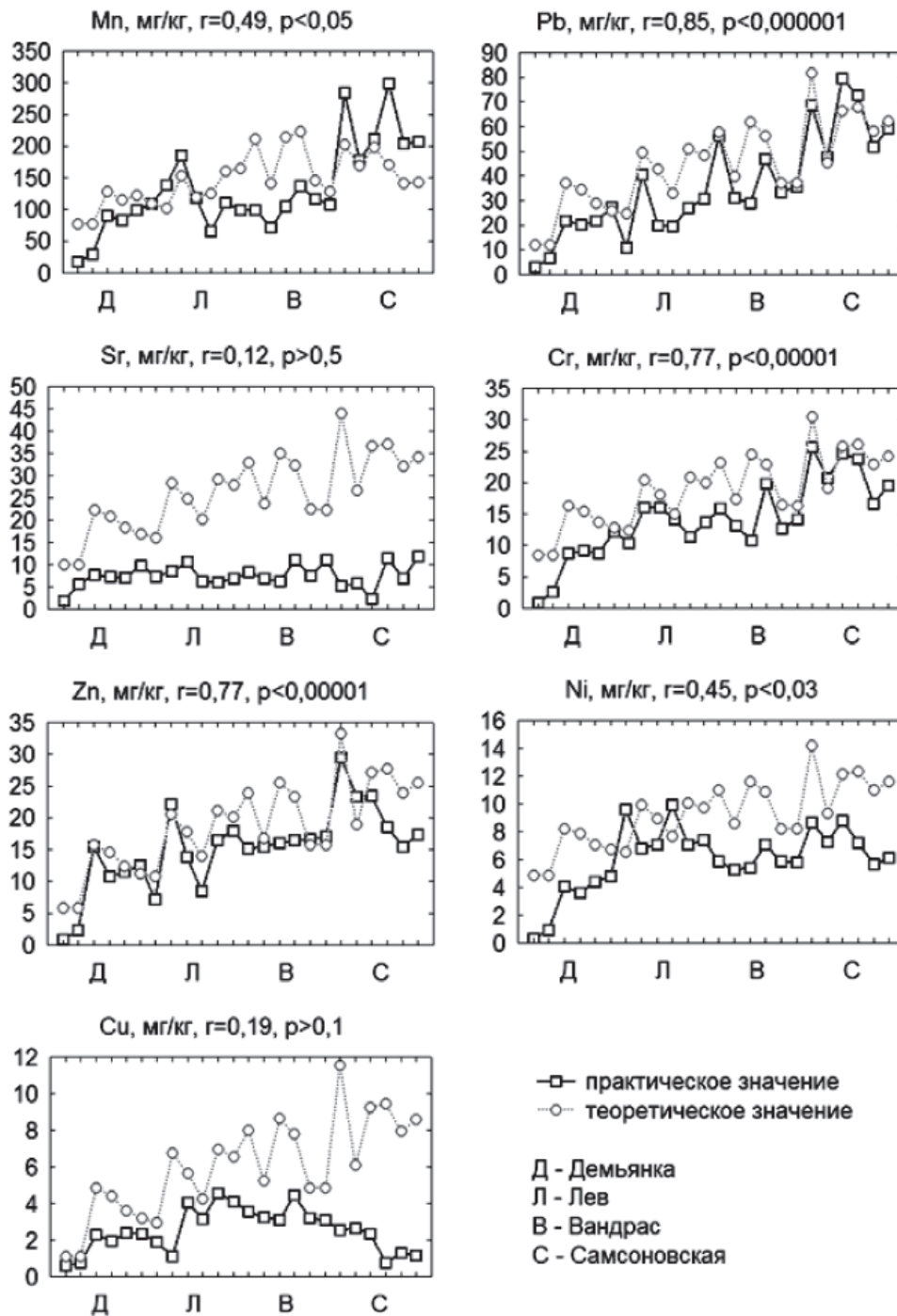


Рис. 4. Теоретические и фактические значения концентраций металлов в донных отложениях рек Демьянка, Лев, Вандрас и Самсоновская



Вычислены значения валового содержания металлов (медиана) в образцах ДО реки Иртыш разного гранулометрического состава – песках, суглинистых песках, песчанистых суглинках и суглинках (рис. 3). Определены статистически значимые различия между группами в содержании анализируемых элементов. В суглинках концентрации металлов значительно превышали таковые в песках (в среднем в 5 раз). Наиболее существенные различия наблюдались при сравнении концентраций калия (медианы крайних групп различались в 12 раз), наименьшие – при сравнении концентраций стронция (медианы различались в 2,5 раза). Выведены уравнения регрессии, отражающие математическую зависимость двух переменных – концентрации металла ( $x$ ) от доли песка ( $s$ ) или глины ( $c$ ) в образце ДО (рис. 3). На основе данных уравнений, определив процентное содержание различных гранулометрических фракций в ДО, можно предсказать наиболее вероятные значения концентрации металла в анализируемом образце.

При использовании полученных уравнений регрессии, а также данных о гранулометрическом составе ДО рек Демянка, Лев, Вандрас и Самсоновская, рассчитаны теоретические значения концентраций семи металлов для данных образцов. Проведен сравнительный анализ теоретических значений с фактически полученными результатами (рис. 4). Выявлено превышение теоретических значений Sr, Cu, Ni и Cr над практическими показателями ( $p < 0,0001$ ). Таким образом, в ДО реки Иртыш по сравнению с ДО малых рек того же гранулометрического состава наблюдается более высокая концентрация данных металлов. При оценке показателей Mn получена неоднозначная картина – по сравнению с Иртышом, ДО реки Вандрас накапливают Mn меньше, а ДО реки Самсоновская – больше. Следует отметить, что особенностью химического состава ДО реки Самсоновская было и высокое содержание органических веществ.

## Заключение

Анализ ДО указывает на многократное превышение концентраций металлов в суглинках по сравнению с песками, в связи с чем оценка уровня загрязнённости ДО металлами должна проводиться с учетом их гранулометрического состава. Так, одни и те же концентрации металлов в образцах ДО с высоким содержанием глины могут расцениваться как норма, а в песчанистых образцах свидетельствовать о загрязнении. С целью сравнения содержания металлов в ДО, идентичных по гранулометрическому составу, удобно использовать уравнения регрессии.

## Список литературы

1. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области. – Екатеринбург: Средне-Уральское книжное издательство, 1996. – 240 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растения. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
3. Моисеенко Т.И. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. – М.: Наука. 2002. – 399 с.
4. Московченко Д.В. Экогеохимия нефтегазодобывающих районов Западной Сибири – Новосибирск: Гео, 2013. – 259 с.
5. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна / под ред. Д.С. Павлова, А.Д. Мочака. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 596 с.

## References

1. Bakulin V.V., Kozin V.V. Geografija Tjumenskoj oblasti. Ekaterinburg: Sredne-Uralskoe knizhnoe izdatelstvo, 1996. 240 p.
2. Ilin V.B. Tjzhelye metally v sisteme pochva-rastenija. Novosibirsk: Nauka, 1991. 151 p.
3. Moiseenko T.I. Antropogennye modifikacii jekosistemy ozera Imandra. M.: Nauka. 2002. 399 p.
4. Moskovchenko D.V. Jekogeohimija neftegazodobyvajushchih rajonov Zapadnoj Sibiri Novosibirsk: Geo, 2013. 259 p.
5. Jekologija ryb Ob-Irtyskского bassejna / pod red. D.S. Pavlova, A.D. Mocheka. M.: Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2006. 596 p.

## Рецензенты:

Харитонцев Б.С., д.б.н., профессор кафедры биологии, экологии и методики естествознания, филиал, Тюменский государственный университет, г. Тобольск;

Ерёмченко О.З., д.б.н., профессор, заведующая кафедрой физиологии растений и микроорганизмов, Пермский государственный университет, г. Пермь.