

Е. С. Земцова, Г. С. Алимова, А. Ю. Токарева

Химико-экологическая оценка состояния донных отложений реки Иртыш на территории Тюменской области РФ

Атомно-эмиссионным методом определено валовое содержание Al, Co, Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Sr, As, Cr и Ni в образцах донных отложений нижнего течения реки Иртыш, представляющих собой пески, суглинистые пески, песчанистые суглинки, суглинки илистые и суглинки. Установленные концентрации не превысили фоновые показатели, за исключением Pb и As, максимальные значения которых составили соответственно 138 и 7,2 мг/кг. Валовые концентрации металлов и металлоидов находились в тесной корреляционной зависимости от содержания в речных отложениях различных гранулометрических фракций. Предложен способ оценки степени загрязнения грунтов с учетом гранулометрического состава донных отложений. В результате получены уравнения множественной регрессии, отражающие математическую зависимость концентрации различных элементов от двух предикторов – доли глинистых и илистых частиц в донных отложениях реки Иртыш. На основе данных уравнений, определив процентное содержание различных гранулометрических фракций в грунтах, можно предсказать наиболее вероятные значения концентрации металла в анализируемом образце. Определено содержание нефтепродуктов в донных отложениях реки методом ИК-спектрии. В 24 % исследуемых образцов донных отложений концентрации нефтепродуктов не превысили предельно допустимый уровень, равный 20 мг/кг, в остальных образцах варьировали от 21 до 73 мг/кг. Выявлены статистически значимые корреляционные связи валовых концентраций элементов с содержанием железа, марганца, органического вещества и нефтепродуктов в донных отложениях нижнего течения реки Иртыш. Определены слабые статистически значимые корреляции pH с показателями гранулометрического состава донных отложений.

Ключевые слова: река Иртыш, нижнее течение, донные отложения, гранулометрический состав, нефтепродукты, металлы

Информация о статье: поступила в редакцию 11.12.2018; получена после доработки 01.02.2019

Введение

Иртыш – трансграничная река, протекающая по территории Китая, Казахстана и России, относится к группе крупнейших рек земного шара (общая длина составляет 4 248 км). В Тюменской области Иртыш является важным хозяйственным, рыболовным, рекреационным и туристическим объектом. Наблюдаемое ухудшение качества воды в реке связано с эксплуатацией речного флота, транспортировкой нефтепродуктов, выносом поллютантов с пойменных площадей, где ведется хозяйственная деятельность различных предприятий, а также сбросом сточных вод [1–3].

При химико-экологической оценке водных экосистем наиболее информативными объектами являются донные отложения, так как они могут аккумулировать загрязняющие вещества в течение длительного периода вследствие малой скорости перемещения.

Цель данного исследования – оценить уровень загрязнения донных отложений нижнего течения р. Иртыш нефтепродуктами и химическими элементами (металлами и металлоидами) с учетом физико-химических свойств исследуемых образцов.

Материалы и методы

Работы по изучению химического состава донных отложений проводили в нижнем течении реки Иртыш в 2014 г. Исследовали участок реки длиной 163 км в пределах Тобольского и Уватского районов Тюменской области (рис. 1). Отбор проб донных отложений проводили дночерпателем: с правого (R) и левого (L) берегов, стрежня реки (M) в различные фазы водного режима: весной (1), летом на спаде половодья (2) и осенью перед ледоставом (3).

Отбирали верхний слой донных отложений (5–10 см). Анализ отобранных образцов (общее количество $n = 63$) выполняли в химико-экологической лаборатории Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения Российской академии наук и лаборатории экотоксикологии Государственного научно-производственного центра рыбного хозяйства (г. Тюмень), аккредитованных в области проведения необходимых аналитических работ.

Оценивали уровень кислотности водной вытяжки донных отложений (pH), содержание органического вещества, нефтепродуктов и металлов с применением аттестованных методик и с использованием сертифицированных в РФ поверенных средств измерений и оборудования. Анализ валового содержания элементов (Al, Fe, Mn, Co, Pb, Cu, Zn, Sr, As, Cr, Ni) выполняли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 7000DV (PerkinElmer, США). Предварительно осуществляли пробоподготовку с использованием системы микроволнового разложения проб Speedwave MWS-2 (BERGHOF Products + Instruments GmbH, Германия). Содержание нефтепродуктов определяли методом

ИК-спектрометрии. При оценке гранулометрического состава донных отложений использовали метод Рутковского, для классификации грунтов применяли треугольник Ферре.

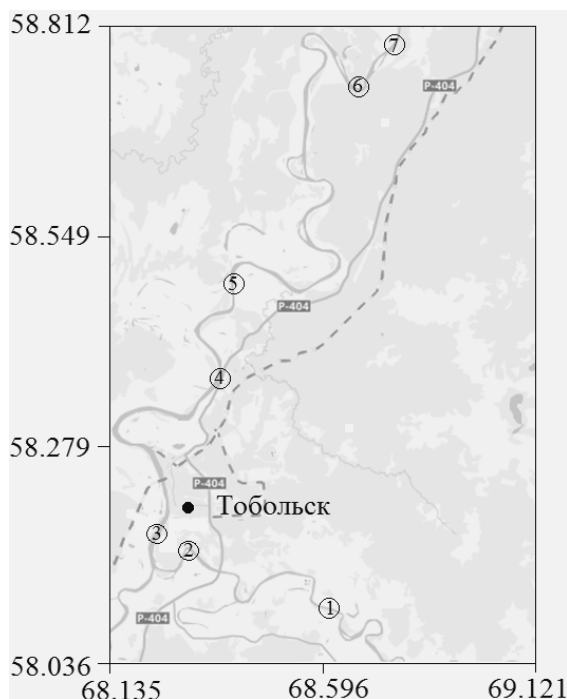


Рис. 1. Карта-схема станций отбора донных отложений реки Иртыш вблизи населенных пунктов Тобольского района: 1 – село Абалак; 2 – село Бизино; 3 – район речного порта г. Тобольска; 4 – деревня Медведчиково; 5 – поселок Бронниково; Уватский район: 6 – научно-исследовательская станция "Миссия" Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения РАН; 7 – село Горнослинкино

Fig. 1. Schematic map of bottom sediment sampling stations of the Irtysh River near the settlements of the Tobolsk district: 1 – the village of Abalak; 2 – the village of Bizino; 3 – near the river port of Tobolsk city; 4 – the village of Medvedchikovo; 5 – the township of Bronnikovo; the Uvat district: 6 – research station "Mission" of the Tobolsk complex scientific station, Ural branch RAS; 7 – the village of Gornoslino

Статистический анализ данных проводили с использованием пакета программ Statistica (StatSoft). Применяли регрессионный анализ, коэффициент детерминации (R^2), индекс множественной корреляции (R), коэффициент корреляции Спирмена (Spearman) (r), рассчитывалась средняя ошибка аппроксимации (A). Критический уровень статистической значимости (p) принимался равным 0,05.

Результаты и обсуждение

Гранулометрический состав донных отложений исследуемого участка реки Иртыш представлен песчаными, илистыми и глинистыми фракциями. В отобранных образцах донных отложений содержание песчаных частиц варьировало в пределах 28–100 %, илистых – 0–63 % и глинистых – 0–15 %. Изученные образцы донных отложений классифицировались как пески (27 %), суглинистые пески (21 %), песчанистые суглинки (32 %), суглинки илистые (14 %) и суглинки (7 %).

Донные отложения исследуемого участка реки чаще всего имели слабощелочную реакцию, средние значения pH составили 7,5, диапазон колебаний от 5,2 до 8,2. Определены слабые статистически значимые корреляции pH с показателями гранулометрического состава грунта. Величина pH снижалась при увеличении доли глинистых ($r = -0,31$) и иловых ($r = -0,26$) частиц и уменьшении доли песчаных фракций ($r = 0,27$).

Содержание нефтепродуктов в донных отложениях реки Иртыш варьировало от 4,0 до 73,4 мг/кг. Нефтепродукты – опасные поллютанты, загрязняющие поверхностные воды [4]. В Тюменской области на долю нефти приходится более 80 % общего загрязнения водоемов [5]. Для рек Тюменского региона установлен предельно допустимый уровень содержания нефтепродуктов в донных отложениях (ПДУ_{донных отложений}), равный 20 мг/кг сухого грунта. В результате исследований предложена классификация уровней загрязнения донных отложений сибирских водоемов нефтепродуктами: I – слабое загрязнение (содержание нефтяных компонентов 21–50 мг/кг), II – умеренное (51–100 мг/кг), III – сильное (101–500 мг/кг), IV – экстремальное (500–1 000 мг/кг), V – критическое (более 1 000 мг/кг) [6]. В пробах донных отложений реки Иртыш выявлен 71 % проб, имеющих слабое загрязнение, 5 % – умеренное и 24 % – ниже ПДУ_{донных отложений}. Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов обнаружены на станциях 3 и 4, вблизи которых располагаются зоны

отстоя и ремонта судов речного флота, площадка в пойме реки, где до 2008 г. располагалась нефтебаза, выпуски канализационно-очистной станции г. Тобольска, стоки Тобольской ТЭЦ, очистные сооружения нефтехимического комплекса ООО "Сибур Тобольск" [7].

Влияние фазы водного режима реки Иртыш на динамику содержания нефтепродуктов в донных отложениях подробно рассмотрены в работах [8–9].

Среди металлов и металлоидов наиболее опасными токсикантами для биоты являются Co, Pb, Cu, Al, Zn, Sr, Ni, Cr, Mn, As [10]. Концентрации элементов в донных отложениях зависят от их фракционного состава, содержания в них органических веществ и биогенных компонентов [11–19]. В табл. 1 приведены статистически значимые значения ($p < 0,05$) коэффициента корреляции Спирмена между элементами и физико-химическими свойствами донных отложений реки Иртыш. Коэффициенты корреляции Спирмена рассчитаны для всех отобранных образцов донных отложений нижнего течения реки Иртыш.

Таблица 1. Связь валовых концентраций элементов с содержанием гранулометрических фракций, железа, марганца, органического вещества и нефтепродуктов в донных отложениях нижнего течения реки Иртыш ($n = 63, p < 0,05$)

Table 1. The gross concentrations' relations of elements containing particle-size fractions, iron, manganese, organic substance and oil products in the bottom sediments of the lower reach of the Irtysh River ($n = 63, p < 0,05$)

Элемент	Глина ($< 0,005$ мм)	Ил ($0,005-0,05$ мм)	Песок ($0,05-2$ мм)	Fe	Mn	Органическое вещество	Нефте- продукты
Co	0,83	0,77	-0,80	0,97	0,90	0,35	–
Pb	0,83	0,76	-0,80	0,99	0,89	0,33	0,26
Cu	0,82	0,75	-0,79	0,96	0,84	0,32	0,27
Al	0,81	0,74	-0,77	0,94	0,85	0,39	–
Zn	0,79	0,73	-0,76	0,97	0,86	0,31	0,31
Sr	0,74	0,72	-0,75	0,93	0,85	–	0,36
As	0,69	0,66	-0,69	0,91	0,82	0,27	0,31
Cr	0,69	0,62	-0,67	0,92	0,75	–	0,36
Ni	0,67	0,59	-0,63	0,88	0,76	–	0,40

Примечание. Тире означает, что корреляция статистически не значима; коэффициенты корреляции Спирмена (r) рассчитаны для всех отобранных образцов донных отложений нижнего течения реки Иртыш.

Хорошими природными сорбентами металлов по своей природе являются оксиды и гидроксиды железа и марганца [20]. Это связано с их способностью покрывать тонким пористым слоем поверхность других частиц твердого осадка, что значительно увеличивает удельную сорбционную поверхность. Относительная концентрация гидроксида железа в составе донных отложений может изменяться в широких пределах и достигать достаточно высоких значений – 0,3–3,5 % [11]. Соответственно, при прочих равных условиях в зависимости от концентрации железа в широких пределах могут изменяться и концентрации других металлов. При этом обычно наблюдаемая обратная корреляция между размером гранулометрических фракций донных отложений и концентрацией металлов может быть нарушена [11]. Природной особенностью химического состава воды нижнего течения реки Иртыш являются повышенные концентрации железа и марганца, связанные с болотным водосбором. В проведенных ранее исследованиях содержание железа в пробах воды, отобранных на исследуемом участке реки Иртыш в период весенне-летнего половодья, варьировало от 594 до 2470 мкг/дм³ (ПДК железа общего в воде объектов рыбохозяйственного значения составляет 100 мкг/дм³), а содержание марганца – от 85 до 240 мкг/дм³ (ПДК – 10 мкг/дм³) [21]. В аэробных условиях происходит окисление растворенных форм металлов до нерастворимых ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$, $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$) и их осаждение в составе взвеси. Наиболее тесные корреляции данных элементов определены с Pb и Co, наименьшие – с Ni, Cr и As (табл. 1).

Большую роль в сорбции металлов играет процесс образования прочных гуматных комплексов с нерастворимыми гуминовыми кислотами, входящими в состав донных отложений. Содержание органического вещества в исследуемых образцах характеризовалось низкими значениями – среднее значение составило 0,5 %, диапазон колебаний – от 0 до 1,7 %. Определена слабая прямая связь между содержанием органического вещества и большинства элементов в речных отложениях (табл. 1).

Выявлена слабая положительная корреляция между содержанием нефтепродуктов и концентрацией микроэлементов в изученных образцах (табл. 1). Наиболее высокие значения коэффициента корреляции получены для Ni ($r = 0,40$).

При соотношении коэффициентов корреляции между собой прослеживалась следующая закономерность: чем сильнее была связь концентрации металла с содержанием нефтяных компонентов, тем слабее была

его связь с содержанием органического вещества, и наоборот. Металлы, имеющие по сравнению с другими элементами наиболее тесные связи с нефтепродуктами (Ni, Cr и Sr), не имели статистически значимых связей с содержанием органического вещества. И наоборот, элементы, характеризующиеся относительно других элементов сильными связями с органическим веществом (Al, Co), не были связаны с содержанием нефтепродуктов (табл. 1).

В связи с многократной разницей в содержании элементов в песках и суглинках оценка степени загрязнения донных отложений должна проводиться с учетом гранулометрического состава образцов. Получены уравнения множественной регрессии, отражающие математическую зависимость концентрации различных элементов от двух предикторов – доли глины и ила в донных отложениях нижнего течения реки Иртыш (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость концентрации металлов и металлоидов от процентного содержания глины и ила в донных отложениях нижнего течения реки Иртыш
Table 2. Dependence of the concentration of metals and metalloids on the percentage of clay and silt in the bottom sediments of the lower reach of the Irtysh River

	Уравнение	R	R ²	A, %
Ni	$Y = 3,824 + 0,7772X_1 + 0,05973X_2$	0,64	0,40	45
Cr	$Y = 6,7726 + 1,5387X_1 + 0,196X_2$	0,73	0,54	44
Mn	$Y = 32,751 + 40,8353X_1 - 0,02241X_2$	0,72	0,52	38
Al	$Y = 3,1257 + 1738,2475X_1 + 35,4557X_2$	0,82	0,66	51
Sr	$Y = 8,1398 + 2,0599X_1 + 0,3562X_2$	0,79	0,62	37
Co	$Y = 0,928 + 0,4284X_1 + 0,03929X_2$	0,85	0,72	28
Pb	$Y = 5,2616 + 5,4927X_1 + 0,4738X_2$	0,83	0,70	35
Cu	$Y = 0,2875 + 0,8892X_1 + 0,05732X_2$	0,82	0,67	46
Zn	$Y = 3,6282 + 2,2024X_1 + 0,1707X_2$	0,78	0,60	36
As	$Y = 0,978 + 0,2013X_1 + 0,02413X_2$	0,72	0,52	40

Примечание. Y – концентрация металла, X₁ – процентное содержание глины (диапазон 0–15 %), X₂ – процентное содержание ила (диапазон 0–63 %), R – индекс множественной корреляции, R² – коэффициент детерминации, A – средняя ошибка аппроксимации.

На основе данных уравнений рассчитаны теоретические значения элементов в исследуемых образцах донных отложений известного гранулометрического состава. Сравнение фактически полученных результатов с теоретическими показателями позволило выявить образцы донных отложений с "аномальными" концентрациями элементов (т. е. значительно отклоняющимися от теоретических показателей). На рис. 2 и 3 в качестве примера представлены уравнения регрессии для Ni, Cr, Mn, Al, Sr, Co, Pb, Cu, Zn, As. Приведены пределы содержания данных элементов в изученных образцах. Отражены фактические (круглый белый маркер) и теоретические (квадратный черный маркер) значения концентраций элементов в каждом образце. Показано суммарное процентное содержание глинистых и илистых фракций (серая сплошная линия). Образцы донных отложений расставлены в порядке возрастания суммарного содержания в них фракции глинистых и илистых частиц, и соответственно уменьшения содержания фракции песчаных частиц. Визуально можно выделить максимальные отклонения концентраций элементов от теоретической кривой. Так, в двух песчаных образцах R₃2 и M₃2 наблюдались нетипично высокие для песчаных проб концентрации Ni, превышающие теоретически рассчитанные значения в 4–5 раз. В этих же образцах зафиксировано также 2–3-кратное превышение концентраций Cr. Дополнительно в образце R₃3, имеющего 100 % содержание песчаных частиц, определено повышенное содержание Cr, сопоставимое с концентрацией данного элемента в суглинках. Корреляции между Ni и Cr были более тесными (r = 0,91), чем корреляции данных металлов с другими токсичными элементами.

Как было показано выше, Ni и Cr имели наиболее тесные связи с содержанием нефтепродуктов (табл. 1). Известно, что одним из основных источников антропогенного поступления данных металлов в окружающую среду является сжигание ископаемого топлива. Обогащение осадков Ni и Cr коррелируется с поступлением золы из различных источников – от сжигания нефти, угля и древесины [22]. Интересно отметить, что превышения фактических концентраций макроэлементов – Al, Mn – в образцах R₃3, R₃2 и M₃2 практически не наблюдалось. Профили кривых, отражающих фактические и теоретические концентрации Co, Pb, Cu и Zn, имели схожий характер. Между перечисленными металлами определены сильные корреляции (r > 0,96). Особенностью профиля кривой экспериментально полученных значений Zn был выраженный пик в точке, соответствующей образцу R₂1 (содержание Zn превысило значения, рассчитанные по уравнению регрессии, в 3 раза). Практически для всех элементов (за исключением Mn) было характерно 2-кратное превышение фактических концентраций в образце R₁4. Выявлены повышенные концентрации As в песчаном образце R₁4, характерные для образцов с относительно высоким содержанием тонкодисперсных фракций.

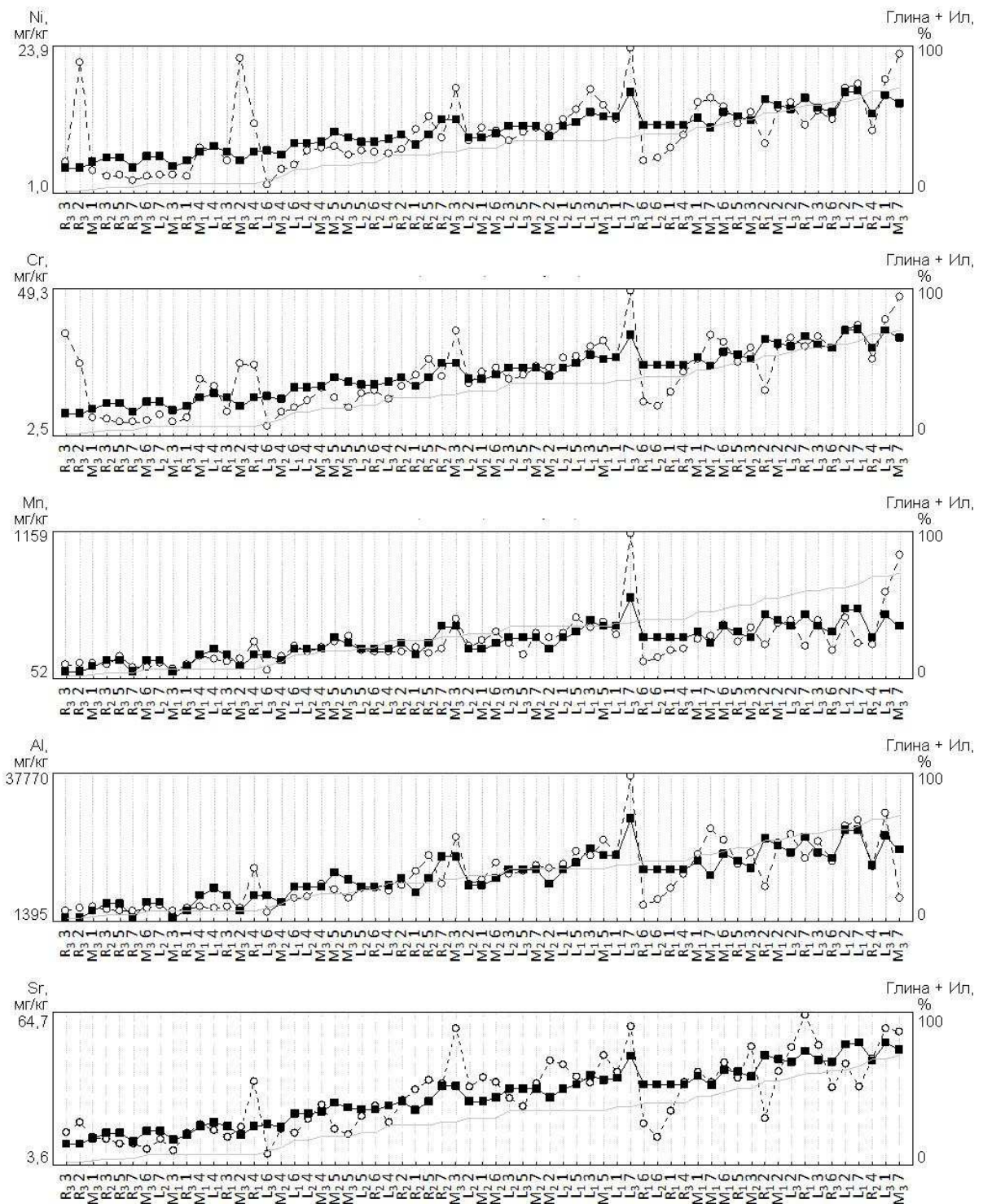


Рис. 2. Фактическое и теоретическое содержание Ni, Cr, Mn, Al и Sr в образцах донных отложений р. Иртыш различного гранулометрического состава (черный квадратный маркер – теоретическое значение, белый круглый маркер – фактическое значение концентрации металла, серая сплошная линия – суммарное содержание глины и ила; в шифре образцов: R, L и M – соответственно правый берег, левый берег и стержень реки, нижние индексы 1–3 – весна, лето, осень (время отбора проб), цифры 1–7 – станции отбора проб)

Fig. 2. Actual and theoretical concentrations of Ni, Cr, Mn, Al and Sr in the test portions with different particle-size classification in the bottom sediments of the Irtysh River (the black square marker – theoretical value, the white round marker – actual value, the gray full line – total clay and silt concentration; R, L, and M – respectively the right bank, left bank and stem of the river, the subscripts 1–3 – spring, summer, autumn (time of sampling), numbers 1–7 – station sampling)

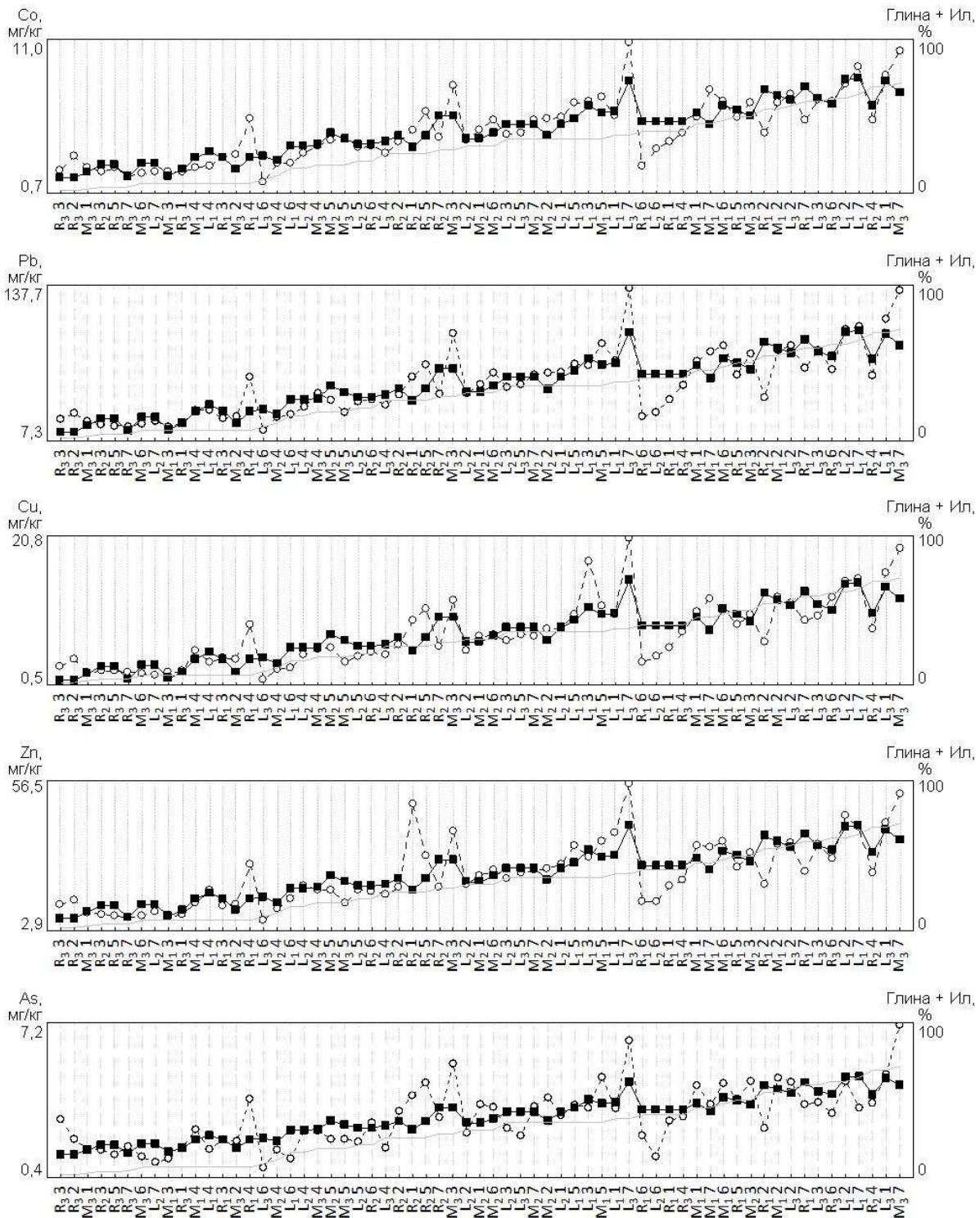


Рис. 3. Фактическое и теоретическое содержание Co, Pb, Cu, Zn и As в образцах донных отложений р. Иртыш различного гранулометрического состава (черный квадратный маркер – теоретическое значение, белый круглый маркер – фактическое значение концентрации металла, серая сплошная линия – суммарное содержание глины и ила; в шифре образцов: R, L и M – соответственно правый берег, левый берег и стержень реки, нижние индексы 1–3 – весна, лето, осень (время отбора проб), цифры 1–7 – станции отбора проб)

Fig. 3. Actual and theoretical concentrations of Co, Pb, Cu, Zn and As in the test portions with different particle-size classification in the bottom sediments of the Irtysh River (the black square marker – theoretical value, white round marker – actual value, the gray full line – total clay and silt concentration; R, L, and M – respectively the right bank, left bank and stem of the river, the subscripts 1–3 – spring, summer, autumn (time of sampling), numbers 1–7 – station sampling)

Максимальные концентрации элементов (кроме As и Sr) зафиксированы в образце L₃₇, характеризующемся наиболее высоким содержанием глины (15 %) при суммарном содержании глинистых и илистых фракций 37,5 %. В данном образце отмечалось также некоторое превышение фактических концентраций элементов над теоретическими показателями.

Анализ речных отложений нижнего течения реки Иртыш показал, что валовые концентрации Cu, Cr, Ni, Zn, Co во всех образцах соответствуют фоновым показателям. Концентрации Pb и As не превышали фоновые только в песках (согласно указаниям различных авторов [22–26]), фоновое содержание Pb – до 10–28 мг/кг, As – до 1,7–1,8 мг/кг). В образцах с относительно высоким содержанием глины и ила (от 15 до 70 %) и в одном песчаном образце (R₁₄) отмечено превышение фоновых показателей – диапазон концентраций Pb составил от 29 до 138 мг/кг, As – от 1,9 до 7,2 мг/кг. В Российской Федерации узаконены в ГН 2.1.7.2511-09 ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) Pb, Cu, Ni, Zn, Cd и As для почв с различными физико-химическими свойствами (учитывается гранулометрический состав и pH).

При сравнении валовых концентраций элементов в речных отложениях Иртыша с ОДК выявлено повышенное содержание Pb и As только в одном песчаном образце (R₁₄) – концентрация Pb составила 56 мг/кг при ОДК 32 мг/кг, концентрация As – 3,7 мг/кг при ОДК 2,0 мг/кг.

Заключение

Результаты исследований показывают, что 76 % образцов донных отложений исследуемого участка нижнего течения реки Иртыш содержат нефтепродукты в пределах от 21 до 73 мг/кг, что превышает в 1,05...3,65 раза предельно допустимый уровень их содержания, установленный в донных отложениях для рек Тюменского региона.

Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов обнаружены в районе речного порта г. Тобольска и деревни Медведчиково Тобольского района – территории эксплуатации судов речного флота, очистных сооружений комплекса предприятий нефтехимического профиля ООО "Сибур Тобольск", стоков канализационно-очистной станции г. Тобольска.

Определены статистически значимые связи между валовой концентрацией элементов (Al, Co, Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Sr, As, Cr, Ni) и процентным содержанием гранулометрических фракций донных отложений нижнего течения реки Иртыш.

Предложен способ оценки степени загрязнения грунтов с учетом гранулометрического состава. В результате получены уравнения множественной регрессии, отражающие математическую зависимость концентрации различных элементов от двух предикторов – доли глинистых и илистых частиц в донных отложениях реки Иртыш. На основе данных уравнений, определив процентное содержание различных гранулометрических фракций в грунтах, можно предсказать наиболее вероятные значения концентрации металла в анализируемом образце.

Использование дифференцированного подхода при анализе концентраций токсичных элементов в речных отложениях разного гранулометрического состава позволило выделить несколько песчаных образцов с повышенным содержанием Ni, Cr, Zn, As, Pb, Sr, сопоставимым с содержанием перечисленных элементов в суглинках. В основном данные образцы были отобраны на участках правого побережья реки Иртыш.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику группы экологии гидробионтов Отдела экологических исследований Тобольской комплексной научной станции УрО РАН Чемагину Андрею Александровичу за помощь в отборе проб донных отложений реки и сотрудникам лаборатории экотоксикологии Государственного научно-производственного центра рыбного хозяйства (г. Тюмень) за проведенный анализ образцов на содержание в них нефтепродуктов.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках темы фундаментальных научных исследований "Антропогенная трансформация пойменных экосистем Обь-Иртышского бассейна" № АААА-А19-119012190088-0.

Библиографический список

1. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна : [монография] / [С. Ф. Берендеев и др.] ; под ред. Д. С. Павлова, А. Д. Мочка. М. : Товарищество науч. изд. КМК, 2006. 596 с.
2. Panin M. S. Anthropogenic heavy metal pollution of Irtysh River basin // *Geochemistry International*. 2002. V. 40, Iss. 7. P. 685–693.
3. Чемагин А. А. Современное экологическое состояние реки Иртыш в нижнем течении : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08. Тюмень, 2015. 230 с.
4. Temerev S. V. Interaction between water ecosystems and the catchment surface by the example of the Ob'-Irtysh catchment area // *Contemporary Problems of Ecology*. 2008. V. 1, Iss. 1. P. 127–135.

5. Михайлова Л. В., Исаченко-Боме Е. А. Разработка и апробация норматива содержания нефти в донных отложениях поверхностных водных объектов // *Водные ресурсы*. 2012. Т. 39, № 5. С. 530–542.
6. Михайлова Л. В. Регламентация нефти в донных отложениях сибирских водоемов // *Фундаментальные исследования*. 2008. № 2. С. 69–70.
7. Михайлова Л. В., Чемагин А. А., Медведева И. Н. Ретроспективный анализ и современное состояние гидрохимического режима р. Иртыш в нижнем течении // *Вестник рыбохозяйственной науки*. 2015. Т. 2, № 2 (6). С. 60–75.
8. Чемагин А. А., Медведева И. Н. Нефтепродукты в донных отложениях Подчувашской суводи на реке Иртыш (Тобольский район) // *Международный журнал экспериментального образования*. 2016. № 12. С. 350–353.
9. Чемагин А. А. Нефтепродукты в донных отложениях Горнослинkinской зимовальной русловой ямы реки Иртыш // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 12–2. С. 303–305.
10. Моисеенко Т. И. Водная экотоксикология. Теоретические и прикладные аспекты. М. : Наука, 2009. 399 с.
11. Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем // *Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы*. 2001. № 62. С. 1–58.
12. Aghili S., Vaezihir A., Hosseinzadeh M. Distribution and modeling of heavy metal pollution in the sediment and water mediums of Pakhir River, at the downstream of Sungun mine tailing dump, Iran // *Environmental Earth Sciences*. 2018. V. 77, Iss. 4. P. 128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7283-z>.
13. Sojka M., Siepak M., Jaskuła J., Wicher-Dysarz J. Heavy metal transport in a river-reservoir system: a case study from Central Poland // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018. V. 27, N 4. P. 1725–1734. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/76916>.
14. Pandey J., Singh R. Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences // *Applied Water Science*. 2017. V. 7, Iss. 4. P. 1669–1678. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0334-7>.
15. Lima M. W., Santos M. L. S., Faial K. C. F., Freitas E. S., Lima M. O. [et al.]. Heavy metals in the bottom sediments of the Furo of Laura estuary, Eastern Amazon, Brazil // *Marine Pollution Bulletin*. 2017. V. 118, Iss. 1–2. P. 403–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.073>.
16. Jokšas K., Galkus A., Stakėnienė R. Heavy metal contamination of the Curonian Lagoon bottom sediments (Lithuanian waters area) // *Baltica*. 2016. V. 29, N 2. P. 107–120. DOI: <https://doi.org/10.5200/baltica.2016.29.10>.
17. Matys Grygar T., Popelka J. Revisiting geochemical methods of distinguishing natural concentrations and pollution by risk elements in fluvial sediments // *Journal of Geochemical Exploration*. 2016. V. 170. P. 39–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.003>.
18. Colombani N., Mastrocicco M., Dinelli E. Trace elements mobility in a saline coastal aquifer of the Po River lowland (Italy) // *Journal of Geochemical Exploration*. 2015. V. 159. P. 317–328. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.10.009>.
19. Meng Q., Zhang J., Zhang Z., Wu T. Influence of ore deposits on river sediment compositions in Dan River drainage, China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2015. V. 159. P. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.07.018>.
20. Budko D. F., Demina L. L., Lisitzin A. P., Kravchishina M. D., Politova N. V. Occurrence forms of trace metals in recent bottom sediments from the White and Barents Seas // *Doklady Earth Sciences*. 2017. V. 474, Iss. 1. P. 552–556. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1028334X17050014>.
21. Алимova Г. С., Земцова Е. С., Чемагин А. А., Попова Е. И., Дударева И. А. [и др.]. Гидрохимия поверхностных вод и видовой состав макрозообентоса нижнего течения р. Иртыш // *Вода: Химия и экология*. 2014. № 5 (71). С. 27–34.
22. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния / пер. с англ.; под ред. Ю. Е. Саета. М. : Мир, 1987. 288 с.
23. Bowen H. J. M. Trace elements in biochemistry. London ; New York : Academic Press, 1966. 241 p.
24. Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М. : Наука, 1967. 215 с.
25. Forstner U. Metal concentration in freshwater sediments natural background effects // *Interactions between sediments and fresh water : Proceedings of an international symposium held at Amsterdam, the Netherlands, September 6–10, 1976*. Hague, 1977. P. 94–103.
26. Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // *Geological Society of America Bulletin*. 1961. V. 72 (2). P. 175–191.

References

1. *Ekologiya ryb Ob'-Irtyskogo basseyna* [The ecology of fishes of Ob-Irtysk basin] : [monografiya] / [S. F. Berendeyev i dr.] ; pod red. D. S. Pavlova, A. D. Mocheka. M. : Tovarishestvo nauch. izd. KMK, 2006. 596 p.
2. Panin M. S. Anthropogenic heavy metal pollution of Irtysk River basin // *Geochemistry International*. 2002. V. 40, Iss. 7. P. 685–693.
3. Chemagin A. A. *Sovremennoye ekologicheskoye sostoyaniye reki Irtysk v nizhnem techenii* [The current ecological state of the Irtysk River in downstream] : dis. ... kand. biol. nauk : 03.02.08. Tyumen', 2015. 230 p.
4. Temerev S. V. Interaction between water ecosystems and the catchment surface by the example of the Ob'-Irtysk catchment area // *Contemporary Problems of Ecology*. 2008. V. 1, Iss. 1. P. 127–135.
5. Mikhaylova L. V., Isachenko-Bome Ye. A. *Razrabotka i aprobatsiya normativa sodержaniya nefi v donnykh otlozheniyakh poverkhnostnykh vodnykh ob'yektov* [The research and approbation of the oil content standard in the bottom sediments of surface water bodies] // *Vodnyye resursy*. 2012. V. 39, N 5. P. 530–542.
6. Mikhaylova L. V. *Reglamentatsiya nefi v donnykh otlozheniyakh sibirskikh vodoyemov* [Oil regulation in the bottom sediments of Siberian reservoirs] // *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2008. N 2. P. 69–70.
7. Mikhaylova L. V., Chemagin A. A., Medvedeva I. N. *Retrospektivnyy analiz i sovremennoye sostoyaniye gidrokhimicheskogo rezhima r. Irtysk v nizhnem techenii* [Retrospective analysis and the current state of the hydrochemical regime of the lower reach of the Irtysk River] // *Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki*. 2015. V. 2, N 2 (6). P. 60–75.
8. Chemagin A. A., Medvedeva I. N. *Nefteprodukty v donnykh otlozheniyakh Podchuvashskoy suvodi na reke Irtysk (Tobol'skiy rayon)* [Oil products in bottom sediments of Podchuvashskoy suvodi on the Irtysk River (Tobolsk District)] // *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2016. N 12. P. 350–353.
9. Chemagin A. A. *Nefteprodukty v donnykh otlozheniyakh Gornoslinskoy zimoval'noy ruslovy yamy reki Irtysk* [Oil products in bottom sediments of the Gornoslinskoy wintering channel of the Irtysk River] // *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016. N 12–2. P. 303–305.
10. Moiseyenko T. I. *Vodnaya ekotoksikologiya. Teoreticheskiye i prikladnyye aspekty* [Water ecotoxicology: theoretical and applied aspects]. M. : Nauka, 2009. 399 p.
11. Papina T. S. *Transport i osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v ryadu: voda – vzheshennoye veshchestvo – donnyye otlozheniya rechnykh ekosistem* [Transport and distributive characteristics of heavy metals along the following chain: water – suspended substance – bottom sediments of river ecosystems] // *Ekologiya. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoy literatury*. 2001. N 62. P. 1–58.
12. Aghili S., Vaezizhir A., Hosseinzadeh M. *Distribution and modeling of heavy metal pollution in the sediment and water mediums of Pakhir River, at the downstream of Sungun mine tailing dump, Iran* // *Environmental Earth Sciences*. 2018. V. 77, Iss. 4. P. 128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7283-z>.
13. Sojka M., Siepak M., Jaskała J., Wicher-Dysarz J. *Heavy metal transport in a river-reservoir system: a case study from Central Poland* // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018. V. 27, N 4. P. 1725–1734. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/76916>.
14. Pandey J., Singh R. *Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences* // *Applied Water Science*. 2017. V. 7, Iss. 4. P. 1669–1678. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0334-7>.
15. Lima M. W., Santos M. L. S., Faial K. C. F., Freitas E. S., Lima M. O. [et al.]. *Heavy metals in the bottom sediments of the Furo of Laura estuary, Eastern Amazon, Brazil* // *Marine Pollution Bulletin*. 2017. V. 118, Iss. 1–2. P. 403–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.073>.
16. Jokšas K., Galkus A., Stakėnienė R. *Heavy metal contamination of the Curonian Lagoon bottom sediments (Lithuanian waters area)* // *Baltica*. 2016. V. 29, N 2. P. 107–120. DOI: <https://doi.org/10.5200/baltica.2016.29.10>.
17. Matys Grygar T., Popelka J. *Revisiting geochemical methods of distinguishing natural concentrations and pollution by risk elements in fluvial sediments* // *Journal of Geochemical Exploration*. 2016. V. 170. P. 39–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.003>.
18. Colombani N., Mastrocicco M., Dinelli E. *Trace elements mobility in a saline coastal aquifer of the Po River lowland (Italy)* // *Journal of Geochemical Exploration*. 2015. V. 159. P. 317–328. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.10.009>.
19. Meng Q., Zhang J., Zhang Z., Wu T. *Influence of ore deposits on river sediment compositions in Dan River drainage, China* // *Journal of Geochemical Exploration*. 2015. V. 159. P. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.07.018>.
20. Budko D. F., Demina L. L., Lisitzin A. P., Kravchishina M. D., Politova N. V. *Occurrence forms of trace metals in recent bottom sediments from the White and Barents Seas* // *Doklady Earth Sciences*. 2017. V. 474, Iss. 1. P. 552–556. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1028334X17050014>.
21. Alimova G. S., Zemtsova Ye. S., Chemagin A. A., Popova Ye. I., Dudareva I. A. [i dr.]. *Gidrokimiya poverkhnostnykh vod i vidovoy sostav makrozoobentosa nizhnego techeniya r. Irtysk* [Hydrochemistry of surface water and species composition of the lower reach of the Irtysk River] // *Voda: Khimiya i ekologiya*. 2014. N 5 (71). P. 27–34.

22. Mur Dzh. V., Ramamurti S. Tyazhelyye metally v prirodnykh vodakh. Kontrol' i otsenka vliyaniya [Heavy metals in natural waters. Control and impact assessment] / per. s angl.; pod red. Yu. Ye. Sayeta. M. : Mir, 1987. 288 p.

23. Bowen H. J. M. Trace elements in biochemistry. London ; New York : Academic Press, 1966. 241 p.

24. Vinogradov A. P. Vvedeniye v geokhimiyu okeana [Introduction to ocean geochemistry]. M. : Nauka, 1967. 215 p.

26. Forstner U. Metal concentration in freshwater sediments natural background effects // Interactions between sediments and fresh water : Proceedings of an international symposium held at Amsterdam, the Netherlands, September 6–10, 1976. Hague, 1977. P. 94–103.

27. Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // Geological Society of America Bulletin. 1961. V. 72 (2). P. 175–191.

Сведения об авторах

Земцова Елена Сергеевна – ул. имени академика Юрия Осипова, 15, г. Тобольск, Тюменская обл., Россия, 626152; Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения РАН, науч. сотрудник; e-mail: zemcovaelena@mail.ru

Zemtsova E. S. – 15, Academica Yuri Osipova Str., Tobolsk, Tyumen region, Russia, 626152; Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch RAS, Researcher; e-mail: zemcovaelena@mail.ru

Алимова Гульсем Салимовна – ул. имени академика Юрия Осипова, 15, г. Тобольск, Тюменская обл., Россия, 626152; Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения РАН, канд. техн. наук; e-mail: gulsem76@mail.ru

Alimova G. S. – 15, Academica Yuri Osipova Str., Tobolsk, Tyumen region, Russia, 626152; Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch RAS, Cand. of Tech. Sci.; e-mail: gulsem76@mail.ru

Токарева Алёна Юрьевна – ул. имени академика Юрия Осипова, 15, г. Тобольск, Тюменская обл., Россия, 626152; Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения РАН, науч. сотрудник; e-mail: aytokareva@list.ru

To Kareva A. Yu. – 15, Academica Yuri Osipova Str., Tobolsk, Tyumen region, Russia, 626152; Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch RAS, Researcher; e-mail: aytokareva@list.ru

E. S. Zemtsova, G. S. Alimova, A. Yu. Tokareva

Chemical and environmental assessment of the bottom sediments in the Irtysh River (Tyumen Region, Russian Federation)

The total concentration of Al, Co, Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Sr, As, Cr, Ni has been determined in the test portions of the bottom sediments (sand, loamy sand, sandy loam, silt and clay loam) in the lower reach of the Irtysh River. Atomic emission spectroscopy has been used. The established concentrations do not exceed background indicators, except for Pb and As. Their maximum values are 138 and 7.2 mg/kg, respectively. Gross concentrations of metals and metalloids are in close correlation with the content of various particle size fractions in the river sediments. Emission status of the bottom sediments has been analyzed with account of particle-size classification. As a result, multiple regression equations have been obtained. The equations reflect mathematical relationship between concentration of different elements and two regressors – the proportion of clay and silt particles in the bottom sediments of the Irtysh River. Based on these equations and determining the percentage of various particle-size fractions in soils, it is possible to predict the most probable amount of the metal concentration in the test portion. The content of oil products in bottom sediments of the river has been determined by IR spectrometry. The concentration of oil products in 24 % of test portions does not exceed the maximum permissible limit equal to 20 mg/kg. The concentration of oil products varies from 21 to 73 mg/kg in the remaining test portions of the bottom sediments. The statistically significant correlations of the gross concentrations of elements with iron, manganese, organic substance and oil products in the bottom sediments of the lower reach of the Irtysh River have been revealed. The weak statistically significant pH correlations with indicators of the particle-size classification of bottom sediments have been determined.

Key words: the Irtysh River, lower reach, bottom sediments, particle-size classification, oil products, metals

Article info: received 11.12.2018; received in revised 01.02.2019