

Исключение составляют железо, для которого более высокие концентрации установлены для тонких фракций техногенных илов (основной концентратор этого металла в илах — фракция крупного алеврита 0,10–0,01 мм), и ртуть, более высокие уровни, которой наблюдаются во фракции 0,25–0,1 мм (мелкий песок).

Техногенные геохимические аномалии (фиксируемые увеличением значений коэффициентов концентрации K_c относительно местного фоновое содержания в конкретной фракции отложений) большинства изученных металлов проявились за счет увеличения их удельных концентраций практически во всех выделенных фракциях отложений. Исключение составляют алюминий, титан и марганец. В частности, содержания (по сравнению с местным фоном) алюминия в песчаных фракциях и титана в грубом песке практически не изменились, а концентрации марганца во фракциях менее 0,01 мм, наоборот, заметно понизились. В сравнении с местным фоном наиболее сильно возросли концентрации ванадия, марганца и ртути — в грубом песке, титана и хрома — в мелком песке, железа, цинка, серебра и олова — в крупном алеврите, свинца — в мелком алеврите, алюминия — в глинистой фракции. Для никеля аномалии практически равной интенсивности проявились во фракциях менее 0,25 мм. Следует отметить своеобразное распределение аномалий которых проявились в грубых (песчаных) фракциях. В нативных условиях на крупных частицах ила (при исследовании его образцов под биноклярном) наблюдалось своеобразное налипание коллоидных частиц, что, очевидно, является следствием сорбционных процессов. Не исключено, что эти частицы (не разрушенные в ходе гранулометрического анализа, осуществляемого без использования жестких реагентов), обогащенные металлами, и создают отрицательный эффект, в результате чего интенсивность проявления аномалий в крупных фракциях илов более значительна. Кроме того, определенная часть крупных частиц илов формируется в результате коагуляции тонкой взвеси (обогатенной ртутью), что особенно характерно для ближних зон воздействия источников загрязнения [6].

Рассмотрев баланс распределения металлов в гранулометрическом спектре техногенных илов р. Пахра мы показали, что практически для всех из них основным носителем является фракция крупного алеврита (0,10–0,01 мм), с которой связано до 50–70% их валового количества. Это, с одной стороны, обусловлено высокой долей данной фракции в илах (очевидно, как следствие поступления техногенной взвеси со сточными водами и поверхностным стоком с освоенных территорий), с другой — достаточно высокими удельными концентрациями в ней металлов. Показательно, что выше города с этой фракцией (количество которой в среднем составляет 20%) связано до 75–80% от валового количества металлов в русловых отложениях. Кроме того, по сравнению с местным фоном существенно возрастает значение (как носителя химических элементов) фракции 0,25–0,10 мм. Так, если в речных отложениях выше города на долю этой фракции (доминирующей на этом участке в русловых отложениях — до 43–47%) обычно приходится не более 10–15% от валового количества металлов, то в зоне загрязнения с ней связано до 20–30% от общего количества металлов в илах (относительное количество этой фракции в техногенных илах составляет обычно не более 30%). На долю фракций песка в техногенных илах приходится в среднем по 10–20% валового содержания элементов, накапливающихся в илах. Таким образом, основным концентратором металлов в техногенных илах (и фоновом аллювии) обычно является фракция

глины, основным их носителем — фракция крупного алеврита. Важно отметить, что удельные валовые концентрации металлов в техногенных илах многократно выше, нежели в фоновом аллювии.

В техногенных илах р. Инсар в зоне влияния г. Саранска (столица и крупный промышленный центр Республики Мордовия) наиболее высокие концентрации металлов установлены во фракциях мельче 0,25 мм (табл. 2) [6]. По сравнению с местным фоном (выше г. Саранска, створ с. Зяково) именно в этих фракциях наиболее интенсивно проявились и техногенные аномалии. В краевой части пролеженной зоны загрязнения (уже в р. Алатырь, в районе г. Ардатова) основными концентраторами металлов в илестях и песчаных разновидностях русловых отложений также являются фракции менее 0,25 мм. Даже в более крупном водотоке (в р. Сура) на значительном удалении (~ 140 км) от основного источника загрязнения (г. Пензы) фракции мельче 0,25 мм являются основными концентраторами металлов во всех литологических разновидностях русловых отложений. Исключение составляют разновесистые пески, в которых максимальные удельные концентрации меди и цинка приурочены к фракции 0,50–0,25 мм.

Таблица 2

Металлы в гранулометрических фракциях донных отложений р. Инсар, мг/кг

Место отбора проб	Никель			Цинк			Кадмий			Свинец		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
с. Зяково (местный фон)	7	10	15	9	40	51	—	—	—	10	20	25
Устье руч. Никитинский	19	48	68	50	80	100	250	551	641	11	22	150
5 км ниже	20	24	35	45	78	85	225	231	251	12	20	75
с. Анненково	6	10	42	20	88	102	209	219	311	11	22	51

Примечание. Размер фракций, мм: I — 1–0,5; II — 0,5–0,25; III — < 0,25.

В табл. 3 приведены данные о распределении ртути в различных гранулометрических фракциях техногенных илов и фоновое аллювия р. Нура [4, 5, 7]. Здесь в р. Нура в период исследований масштабно были распространены техногенные илы, выстилающие значительные участки речного русла на протяжении почти 100-км участка ниже г. Темиртау (Центральный Казахстан), в котором функционировал химический завод, использующий ртуть в своем технологическом цикле (производство ацетальдегида) [5, 14]. Общие потери ртути в окружающую среду за многолетний период функционирования этого производства оцениваются бо-лее чем в 1200 т.

РГУТЬ в различных гранулометрических фракциях донных отложений
р. Нуры

Таблица 3

Расстояние от ГКС, км	Горизонт, см	Грубозернистый песок, 2-1 мм		Крупный песок, 1-0,5 мм		Средний песок, 0,5-0,25 мм	
		мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
<i>Техногенные илы ниже г. Темиртау</i>							
3	2-20	100	0,4	600	3,02	1000	90,10
	20-40	1000	5,44	500	3,25	1000	7,84
	40-60	300	1,47	600	3,53	600	66,90
9	60-80	300	0,69	100	0,25	500	28,14
	100-120	1500	1,64	1000	1,11	1000	45,61
	120-140	100	1,84	300	2,93	300	3,42
32	40-60	-	-	50	3,71	10	5,81
	80-100	-	-	4	1,58	3	1,35
	120-140	-	-	1,2	2,42	0,5	1,13
105	20-60	-	-	1,2	8,65	0,45	11,02
	20-40	-	-	4	2,20	1,3	10,26
	90-120	-	-	0,35	25,94	0,28	27,94
<i>Русловой аллювий</i>							
Фон	0-20	0,010	0,72	0,031	20,21	0,12	41,15

Расстояние от ГКС, км	Горизонт, см	Мелкий песок, 0,25-0,1 мм		Тонкий песок, 0,1-0,063 мм		Алеврит, 0,063-0,004 мм		Глина, < 0,004 мм	
		мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
<i>Техногенные илы ниже г. Темиртау</i>									
3	2-20	100	1,27	100	2,62	100	0,62	100	1,97
	20-40	400	4,26	300	7,96	500	52,95	400	18,3
	40-60	600	9,31	300	9,37	200	1,52	400	7,90
9	60-80	500	31,38	300	20,79	200	9,96	100	8,79
	100-120	1000	5,21	500	39,61	500	2,61	200	4,21
	120-140	300	12,92	300	6,65	300	48,9	400	23,34
32	40-60	20	13,41	100	17,81	100	11,31	100	47,95
	80-100	42	23,71	50	10,88	60	5,6	200	56,88
	120-140	3	9,0	20	22,24	42	5,41	100	59,80
105	20-60	0,75	19,01	1,4	8,91	1,2	5,12	5	47,29
	20-40	3,5	28,47	3,5	7,53	5	7,42	8	46,12
	90-120	0,29	20,34	0,9	5,27	1	2,27	1	18,24
<i>Русловой аллювий</i>									
Фон	0-20	0,26	5,39	0,50	2,83	0,46	1,55	0,80	28,15

Примечание. мг/кг – удельная концентрация ргутьи в фракции; % – доля ргутьи от вады, приходящая на фракцию, %; ГКС – Главная канава стоков, по которой сточные воды поступают в р. Нуру.

Результаты по фоновым отложениям подтверждают хорошо известный факт – закономерное и существенное (в десятки раз) увеличение удельных концентраций ргутьи от грубых к более тонким фракциям. Основным концентратором ргутьи в фоновом аллювии является фракция глины, основным носителем – фракция среднего песка, с которой связано более 40% валового содержания металла в отложениях, что обусловлено. Заметное количество ргутьи (до 25-30%) связано с глинистой фракцией, что в большей степени обусловлено высокими удельными концентрациями металла в данной фракции. В условиях загрязнения аномалии ргутьи центрами металла в данной фракции. Многократно превышающих фоновые) в техногенных илах проявились за счет резкого увеличения ее содержания во всех фракциях и практически на всем изученном отрезке русла р. Нуры. Однако характер распределения этого металла в гранулометрическом спектре илов принципиально иной, чем в фоновом аллювии. Прежде всего, вблизи основного источника поступления стоков (т. е. в зоне максимального загрязнения) основными концентраторами ргутьи являются, как правило, более грубые фракции отложений. Особенно четко различие между фоновым аллювием и илами фиксируется различными соотношениями (рис. 1). Графики, приведенные на рис. 1, подтверждают значимость грубых фракций как концентраторов ргутьи. Интенсивность проявления техногенных аномалий в более грубых фракциях также выражена резко. Как отмечалось выше, такое своеобразие в распределении ргутьи может быть объяснено особенностями структурно-агрегатного состава техногенных илов. Отметим также, что верхние слои техногенных илов часто представляют собой сильно насыщенные суспензии, состоящую в значительной мере из таких частиц, образующихся в результате коагуляции и флокуляции. Возможно, что при различных технологических процессах, а также при очистке сточных вод происходит обогащение ргутью более грубых частей, которые, обладая большей гидравлической крупностью, осаждаются в первую очередь в ближней зоне загрязнения. Обычно доля таких фракций (особенно грубозернистого и крупного песка) в общей массе техногенных илов незначительна (в среднем 6%), поэтому общее количество связанной с ними ргутьи невелико (первые проценты от вады). Доля фракций среднего, мелкого и тонкого песка уже более существенна и, как правило, именно они являются основными носителями ргутьи на ближайших от источника загрязнения участках русла. При удалении от источника загрязнения отмечается снижение валовых содержания ргутьи и изменение в характере ее распределения в гранулометрическом спектре илов. Роль основных концентраторов переходит к более тонким фракциям – алевритовым и глинистым, причем последние, по сути, являются и основными (насто наряду с мелкими и тонкими песками) носителями ргутьи. По всей видимости, это связано с определенной дифференциацией русловых наносов и более дальней миграцией тонких частей – явление хорошо известно и описанное в литературе. Еще более резко отмеченная тенденция проявляется в периферической части прослеженного потока рассеяния. Интересно отметить, что во фракции грубого песка по всему потоку фиксируются достаточно контрастные технологические аномалии. В общем случае, можно считать, что по мере удаления от источника загрязнения характер и особенности распределения ргутьи в илах приближаются к фоновым параметрам.

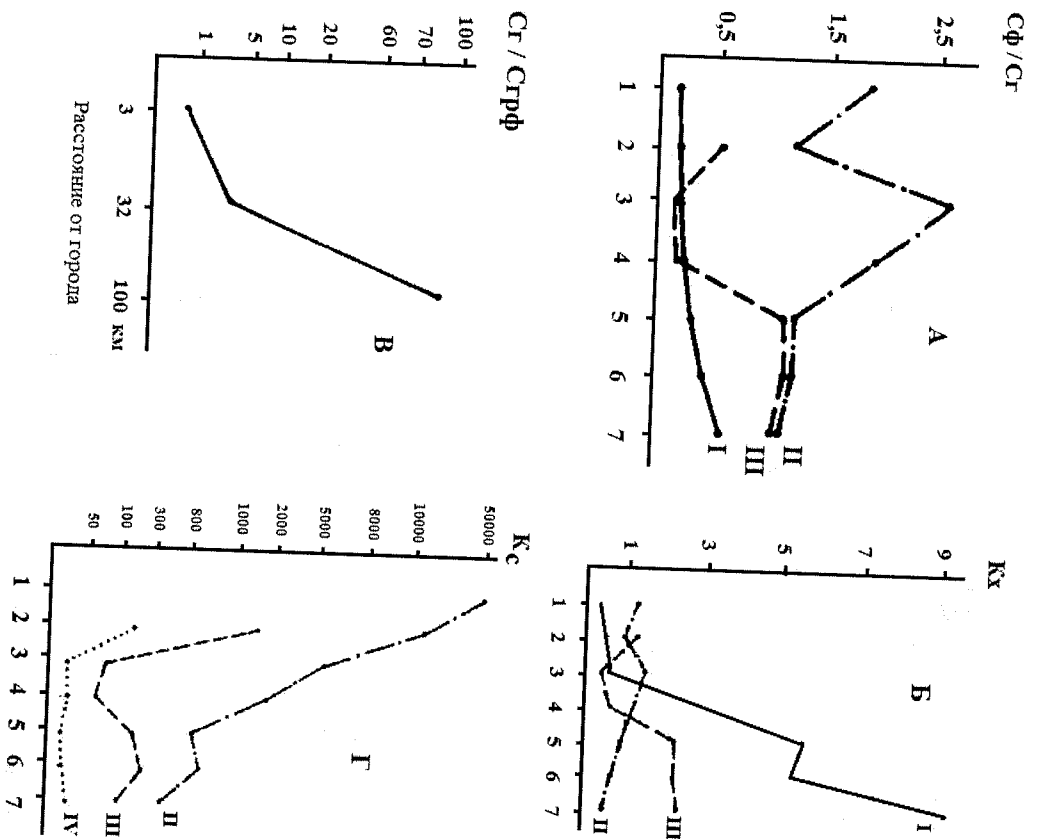


Рис. 1. Распределение $rUTy$ в granulometric спектре донных отложений р. Нура.

I – фон, II – Главная канава стоков (ГКС), III – р. Нура, 9 км ниже ГКС,

IV – р. Нура, 32 км ниже ГКС;

I-7 – фракция, мм: I – 2-1, 2 – 1-0,5, 3 – 0,5-0,25, 4 – 0,25-0,1, 5 – 0,1-0,063, 6 – 0,063-0,04, 7 – < 0,04;

A: Сг – удельная концентрация во фракциях; Стрф – удельная концентрация в фракции глины;

B: Кс – отношение удельного содержания $rUTy$ во фракции к валовому;

C: Ст – удельное содержание в фракции глины; Стрф – удельное содержание в грубозернистом песке; Г – интенсивность концентрирования (в Кс) удельных концентраций $rUTy$ в разных фракциях относительно фона.

Таким образом, в техногенных речных илах геохимические аномалии изученных тяжелых металлов проявились (с разной степенью интенсивности) за счет увеличения их удельных концентраций во всех выделяемых granulometric фракциях. Практически все изученные тяжелые металлы характеризуются направленным ростом их удельных концентраций (и, как правило, степени аномальности) от фракций песка к фракции глины, которая является основной фракцией-концентратом металлов.

Исключение составляют железо (основной концентрат – фракция крупного алеврита) и ртуть (фракция-концентрат – мелкий или средний песок), что обусловлено особенностями структуры-агрегатного состава техногенных илов. В качестве фракции-носителя для большинства металлов выступает крупный алеврит, с которым связано до 50–70% их валового содержания, что обусловлено высокой долей данной фракции в отложениях и относительно высокими удельными концентрациями металлов в ней. Для ртуть основным носителем (в зависимости от удаления от источника загрязнения и горизонта илов) являются фракции среднего или мелкого песка, иногда – тонкого песка или алеврита.

Литература

1. Кузнецов В.А. Геохимия аллювиального литогенеза. – Минск: Наука и техника, 1973. – 280 с.
2. Давыченко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны. – М.: Наука, 1964. – 236 с.
3. Лунеев В.С. Дифференциация осадков в современном аллювии. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1967. – 333 с.
4. Янин Е.П. Экогеохимическая оценка загрязнения реки Нуры ртутью. – М.: ИМГРЭ, 1989. – 43 с.
5. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
6. Янин Е.П. Техногенные речные илы в зоне влияния промышленного города (формирование, состав, геохимические особенности). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 100 с.
7. Янин Е.П. Химический состав и минералогические особенности техногенных илов реки Нуры. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 22 с.
8. Янин Е.П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2004. – 95 с.
9. Янин Е.П. Гранулометрический состав техногенных речных илов и его эколого-геохимическая роль // Прикладная геохимия. Вып. 7. Кн. 2. – М.: ИМГРЭ, 2005, с. 281–288.
10. Янин Е.П. Особенности granulometric состава русловых отложений малой реки в зоне влияния промышленного города // Изв. вузов. Геология и разведка, 2009, № 3, с. 69–74.
11. Янин Е.П. Техногенные речные илы (вещественный состав, геохимические особенности, экологическая оценка) // Экологическая экспертиза, 2013, № 1, с. 2–196.
12. Янин Е.П. Оценка влияния промышленного города на формирование granulometric состава донных отложений малых рек // Экологическая экспертиза, 2017, № 6, с. 2–13.
13. Янин Е.П., Разенкова Н.И., Журавлева М.Г. Техногенные илы – потенциальный источник вторичного загрязнения речных систем // Геоэкологические исследования и охрана недр, 1992, вып. 1, с. 43–52.
14. Heaver S., Lyushenko M.A., Tatlon T.W., Ullrich S.M., Yalin E.P. Mercury in the River Nura and its floodplain, Central Kazakhstan: 1. River sediments and water // Sci. Total Environ., 2000, 260, № 1–3, p. 35–44.